

黄河合同研究会報告書

Proceedings of YRiS Joint Meeting

福岡 2005. 12. 1- 3

総合地球環境学研究所
黄河プロジェクト

目 次

はじめに

福嶋義宏（総合地球環境学研究所） 1

「黄河デルタ班」

黄河デルタにおける地質構造と地形形成過程の再検討

宮岡邦任（三重大学） 3

黄河河口域沿岸における海底地下水湧出量の定量的評価

石飛智稔（総合地球環境学研究所） 5

水質プロファイル解析に基づく黄河デルタ地下水中で の溶存窒素の動態

斉藤光代（広島大学） 8

黄河デルタ地下水の海洋への物質負荷

小野寺真一（広島大学） 12

Water use and its impact zone in the lower reach of the Yellow River

陳 建耀（中山大学） 16

黄河デルタ班の研究成果のまとめと渤海グループとの成果統合

谷口真人（総合地球環境学研究所） 27

「渤海班」

渤海班の目標とこれまでの研究活動

柳 哲雄（九州大学） 29

Suspended Sediment Dispersion Originated from the Yellow River in the Bohai Sea

崔 国慶（九州大学） 31

渤海における SST の季節変動に関する研究

迫田祥哉（九州大学） 34

Numerical study on water exchange between the Bohai Sea and the Yellow Sea

王 強（愛媛大学） 36

渤海現地観測結果による海洋環境要素の季節変動特性

郭 新宇（愛媛大学） 39

黄河流量と渤海海洋環境の経年変動

林 美鶴（神戸大学） 42

本年度までに得られた成果のまとめ

柳 哲雄（九州大学） 46

「黄河の水需給と社会経済解析班」	
黄河流域の県市別水資源需給空間構造の把握に関する研究	大西暁生（名古屋大学） 50
黄河流域の穀物生産性に関する研究	大西暁生（名古屋大学） 54
中国の経済成長に伴う食料需要変化に関する研究	園田益史（名古屋大学） 59
山西省の社会経済的特性と水資源管理政策	白川博章（名古屋大学） 63
Disaggregating Statistical Crop Area with Landsat Imagery in Fenhe River Basin	
— Aiming at Crop Irrigation Water Requirement Study	方 偉華（名古屋大学） 67
山西省における水資源管理政策の評価—工業用水を中心として—	石 峰（名古屋大学） 70
Study on Household Water Use Issues in North China	
— Case Study of Taiyuan City, Shanxi Province —	韓 驥（名古屋大学） 76
「大気境界層班」	
黄土高原南部における蒸発散量の季節変化	檜山哲哉（名古屋大学） 80
中国・黄土高原南部において混合層発達時に観測された鉛直風の特徴	西川将典（名古屋大学） 84
黄土高原南部における混合層発達過程の数値モデリングに関する考察	高橋厚裕（総合地球環境学研究所） 88
Upscaling of Land Surface Temperature over the Changwu Area of China	
	劉 元波（名古屋大学） 90
FROS で観測された長武試験地における麦の分光反射特性と	
水・熱・CO ₂ フラックスの季節変化	樋口篤志（千葉大学） 95
「黄河の灌漑農業」	
黄河流域の大型灌区の農業と水利用	渡邊紹裕（総合地球環境学研究所） 97
灌漑管理実効評価モデル（IMPAM）の開発と河套灌区への適用	
	星川圭介（総合地球環境学研究所） 101

農業センサスからみた稲枝地域の農業構造変化と担い手の可能性	柏尾珠紀（総合地球環境学研究所） 107
「統合理解のためのモデル班」	
衛星データを用いた黄河流域の土地被覆モニタリング	松岡真如（総合地球環境学研究所） 110
黄河流域降水量の長期変動とモデルによる降水の数値実験	馬 燮鈞（地球フロンティア） 112
Long-term trends of extreme precipitation events in the Yellow River Basin: 1961-2000	鄭 紅星（総合地球環境学研究所） 114
黄河中流域への水文・水資源モデル適用－人間活動の影響－	佐藤嘉展（総合地球環境学研究所） 121
黄河下流域における水利用および影響圏について	陳 建耀（中山大学） 125
「降水・放射班」	
温暖化問題と都市気温－黄河流域気温データの解析	徐 健青（地球フロンティア） 127
黄河域における放射収支の変動とその要因解析	河本和明（総合地球環境学研究所） 131
中国における日射量の長期変動と地表面水収支の関係について	早坂忠裕（総合地球環境学研究所） 133

はじめに

本報告書は総合地球環境学研究所（以下地球研と称する）の研究プロジェクト、「近年の黄河の急激な水循環変化とその意味するもの」（以下黄河プロと称する）の平成 17 年度における 5 ヶ年計画の第 3 年目における研究成果と、文部科学省による「人・自然・地球共生プロジェクト（通称 R R 2 0 0 2）」課題 6 において、地球研が担当している「黄河地表水のモデル構築」班の 5 ヶ年計画の第 4 年目における研究成果の合同報告会を平成 17 年度 12 月 1～3 日に開催した際の発表成果をとりまとめたものである。

地球研における黄河プロジェクトは 5 班編制で、檜山哲哉名大・地球水循環研究センター助教授を班長とする陝西省長武における大気境界層観測から黄土高原における大気と地表面間のエネルギーと水蒸気の交換過程を明らかにした上で、それを領域気候モデルに反映させることを目的としている。一方、黄河デルタ地域では黄河からの流入水減少が地下水の水量と物質循環に与える影響の観測調査を目的として、本研究所助教授・谷口真人氏を班長とするチームに、また渤海の海洋物理環境と一次生物生産に与える影響を観測とモデルから解明する研究を、九州大学応用力学研究所教授・柳哲雄氏を班長とする研究チームに託している。最終的には黄河河川水と地下水を介した沿岸域と沿海の相互関係についての新しい知見発見を目指している。さらに、1960 年以降の黄河領域の社会経済発展と水需給に関する各種統計資料解析と山西省太原市や汾河の水行政の実態解明を名大環境学研究科、井村秀文教授を班長とするチームにお願いしている。最後に、黄河の流量変化の総合解析は本研究班の代表である地球研の福嶋義宏が担当している。

他方 RR2002 の研究チームは、地球研の渡辺紹裕教授のチームに黄河流域で展開されている大型の灌漑農業の実態解析を、降水や放射、衛星情報解析による土地利用変化のデータセット構築を早坂忠裕教授のチームに担当して貰っている。また、水文・水資源モデル構築班は福嶋が兼任して黄河プロの総合解析班と一体となって実施している。なお、本モデル構築班には海洋開発研究機構の地球環境フロンティア研究センター・水循環変動予測研究領域と研究協定を行った上で連携して研究遂行を行っている。

さて、2004 年 11 月に両研究プロジェクトの中間評価を、本研究プロジェクトのメンバーでもある中国科学院・劉昌明教授の出席の下に、IGBP のコアプロジェクト BAHC(水循環における生物圏の影響解明班)議長としての実績を有し、現在も IGBP 研究推進委員等を歴任され国際的な研究活動に積極的に関与されているオランダ・ワーヘニンゲン大学教授・Pavel Kabat 教授と WCRP(世界気候研究プログラム)の日本代表委員である名古屋大学・安成哲

三教授から受け、有益な示唆を得た。また、2005年3月には地球研の外部評価委員会による中間評価では、最終ゴールに向かって各班の成果を総合化するように、との助言を得ている。

今回の国内合同研究集会では、各研究班から新しい知見の報告や仮説の発表があった。例えば、黄土高原における夏季における境界層を突き抜ける鉛直風の発見で、これが黄土高原という上が平坦で深く切れ込んだ谷地形とどのような関係にあるかが今後の課題であることが指摘された。デルタにおける渤海への地下水湧出量の表面排出量に対する割合が4%程度であることも解ってきた。一方、渤海と黄海との海水量交換は黄河河川流入量の減少で、むしろ減少しているのではないかと最近の衛星情報解析から指摘された。謎となるのは沿岸表流水や地下水からの窒素供給は減少しているにもかかわらず、渤海ではむしろ窒素増加が指摘されている。この相違ははたしてどのように説明されるのかが、今後の追加調査や外部専門家を招いた研究会で検討されるべきであるとの結論に達した。

また、黄河河川水の70~80%は灌漑農業用に利用されている実態も明らかになってきている。他の都市用水や工業用水セクターからの水量要求にどれだけ応えられるか、長江の河川水を黄河域に導水する「南水北調」事業はこの問題に答えられるのか、別な問題を発生させるのではないかと懸念もある。いずれも渤海の環境がどのようなになるのかという点が要になるようである。一方では、90年代の断流を契機として黄河の河川水の利用法に関する、「水法」が策定・改訂されており、如何に中国政府が国家経済発展と黄河開発・治水を両立させることを重視しているかが解る。調査や巡検で見る黄河流域内陸部の農村や農民の生活と都市部との経済格差も2005年に国として積極的に取り組む政策を打ち出している。ただ、中央の政策が各現場ではどのような効果を発揮するのか、特に下流の河床上昇が引き続き継続している黄河の、その主要な土砂生産域である黄土高原に注目する必要がある。

一方、RR2002研究班からは、NOAA/CPCのXie博士による黄河領域の日単位20年間の0.1度グリッド降水量と当研究所で収集した降水量データの相互検証を行い、1960年以降の信頼できる降水データセットを完成させた。これを基に、長期的な気温や降水量を地帯ごとに見ると、1990年代から若干の気温上昇、降水量減少が認められる。灌漑農業の実態解析も内モンゴルの河套灌区をターゲットとして整理が進んでおり、灌漑用水の利用効率を詳細に調べるIMPAMモデルも構築されつつある。太陽放射の長期的な変化、MODIS衛星解析による土地利用のデジタルマップは我々の研究以外でも十分利用出来る成果である。関係者には再読を、部外者にはご笑覧いただければ幸いです。

2006年1月30日 研究代表者 福嶋義宏

黄河デルタにおける地質構造と地形形成過程の再検討

宮岡邦任（三重大）・谷口真人（地球研）・陳健耀（中山大）・
小野寺真一（広島大）・劉貫群（中国海洋大）

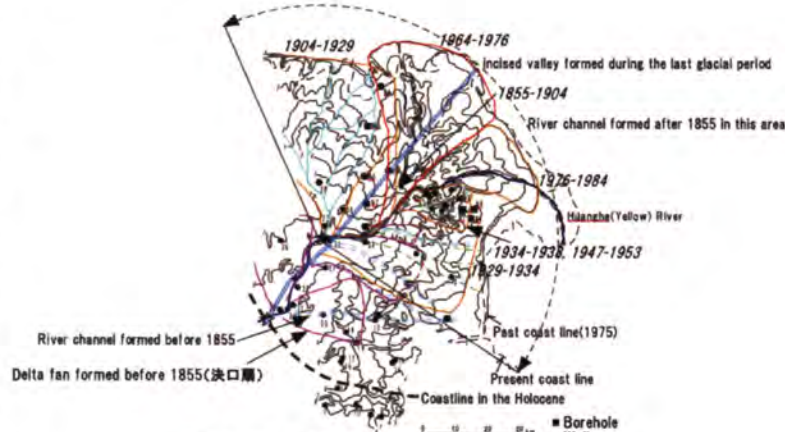
1. はじめに

これまでに黄河デルタにおける浅層地下水の水面標高分布は、地形の形状に沿って形成されていることが確認されている。また、地下水の水質分布については、谷において Cl 濃度が高く、地形標高が高いところでは相対的に Cl 濃度が低くなるという傾向があることも確認されている。さらに、同じ深度でも地域によって地下水の水質が大きく異なるなど、いくつかの事実が確認されている。しかしながら、これらの地形形状、地質構造と地下水水質との関係は、現時点でははっきりと解明できていない。一方で、デルタ地域における地形や地質の情報はかなり収集できてきている。

本発表では、これまでに収集した地形・地質のデータに今年7月にこれまで地質データのほとんど無かったデルタ南部地域に新たに掘削したボーリング孔のデータを加え、黄河デルタにおける地形形成過程および地質構造について再検討した結果と、地下水質との関係の検討結果を提示した。

2. 黄河デルタの地形形成についての再検討と地下水との関係

第1図に、従来研究されてきたデルタ域の地形形成についての情報をまとめた。黄河流路の変更により、年代によって沖積地の堆積域は扇形に細かく分かれていることが分かる。これらの沖積地の境界には、沖積堆積物の堆積していない地域が谷状に分布しており、地表付近にまで高塩分地下水が認められる地域と一致する。また、★印の地



第1図 黄河デルタの地形形成過程

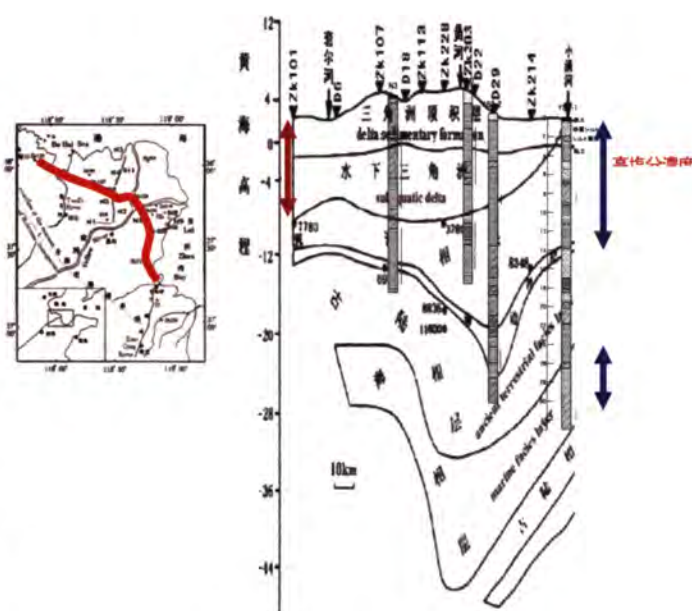
点は、1855年から現在までに黄河流路の変更に伴って形成された殆どの沖積堆積物堆積域の扇頂部に相当する。これ以前に形成された同様の形状を呈する地形は、中国では決口扇として示されており、第1図の紫の点線で描かれた部分にあたる。最終氷期の海岸線から★印の地点にかけて、複数の決口扇が分布しており、この地域の地形の形状は、決口扇の分布状況に規制されて形成されていることが分かる。決口扇の扇端部から海側では沖積堆積物が堆積していない地域である。この地域は高塩分地下水が滞留している地域と一致しており、電気伝導度は、深度 50m 付近にかけて非常に高い。

3. 地質断面からみた地下水との関係

第2図は、南部地域における高塩分地下水の分布状況と地質の関係を明らかにするために、2005年7月に新たに掘削したボーリング孔と2003年に掘削したボーリング孔の地質データを基に、従来の研究と比較しながら作成した地質断面図である。各地質柱状図の右側には、地下水採水用に設置したスクリーンの位置を示した。スクリーンは、主に海成層に設置されていることから、現在、この地域における主な帯水層は、海成層であることがわかる。一方、浅層部では、スクリーンは沖

積層に設置されている。青い矢印で示したこの層の電気伝導度は、赤い矢印で示した沖積層に存在する地下水と比較して、相対的に高く、特に地質断面図中にみられる谷状の部分において、80mS/cm程度の値を呈しており、現在の海水の値よりも高い。

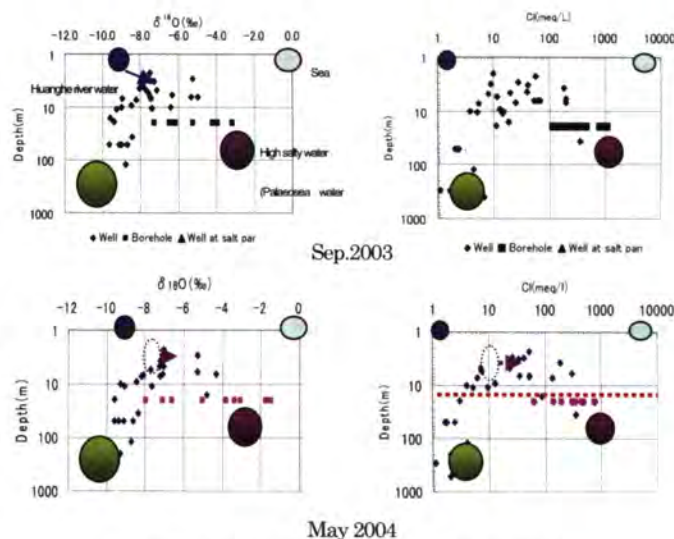
浅層部地下水の電気伝導度は、第2図に示した沖積層部分で約10mS/cmであり、黄河に近づくにつれてさらに濃度は低下することから、沖積層中を流動する地下水の起源は、主に黄河河川水であることが考えられる。



第2図 地質断面図

4. 推定される地下水水質を構成する水の起源

第3図をみると、高水期にあたる2003年9月から低水期にあたる2004年5月にかけて、井戸深度20m以浅の地下水の水質が黄河河川水の水質から海水の水質方向に若干移動していることがわかる。このことは、黄河河川水から浅層地下水への涵養量が減少すると、深度50m付近に賦存する高塩分地下水の影響が浅層部にまで及ぶことを示しており、この地域の浅層部において、黄河河川水と地下水の関係が非常に密接であることを示唆している。浅層地下水の帯水層は、沖積層であることから（第2図）、黄河河川水の浅層地下水への影響がもっとも強いのは、第1図に示した1855年以降に形成された複数の沖積堆積物分布域であると考えられる。一方、深層地下水の水質は、両時期とも殆ど変化していないことから、全く異なった地下水流動系であると考えられる。



第3図 地下水の水質と井戸深度の関係

高塩分地下水には、現在の海水の水質に近いものと南部に位置する製塩場の高塩分地下水の水質に近いものの2種類が存在する。これらのことから、本地域において浅層部の地下水の水質を構成する起源となる水は、黄河河川水、深層地下水、海水、製塩場に代表される高塩分地下水（古海水？）の4つが考えられる。

5. 発表での質疑と今後の課題

第3図に示された深度300～500mの深層地下水の起源に関して質問に対しては、 $\delta^{18}\text{O}$ の値から非常に流動距離の長い地下水流動系であることが考えられるが、この件については、今後さらに検討する予定である。

黄河河口域沿岸における海底地下水湧出量の定量的評価

石飛智稔¹ 谷口真人¹ 陳建耀² 小野寺真一³ 斎藤光代⁴

¹総合地球環境学研究所 ²中山大学地理科学與規劃学院

³広島大学総合科学部 ⁴広島大学生物圏科学研究科

1. はじめに

本プロジェクトの目的の一つは『河川および地下水による渤海湾への物質負荷量の評価』である。その目的を達成するためには、陸から海への地下水流出量の定量的評価を行うことが必要である。そこで黄河流域から渤海湾への地下水流出量の定量的評価を行うために、黄河河口域沿岸において海底からの地下水湧出量の測定を行った。研究手法はシーページメータを用いた地下水湧出量の測定およびCTセンサーによる湧出水の電気伝導度の測定であり、測定期間は2004年9月16日～21日、2005年5月2日～5月7日と2回の観測を行った。測定地点については、2本の測線を設け（Line-A、Line-B）、各測線において500m毎に5地点ずつ測器の設置を行い（A1～A5（陸より500m、1000m、1500m、2000m、2500mの地点）、B2～B6（海岸線より1000m、1500m、2000m、2500m、3000mの地点））測定を行った（図1）。

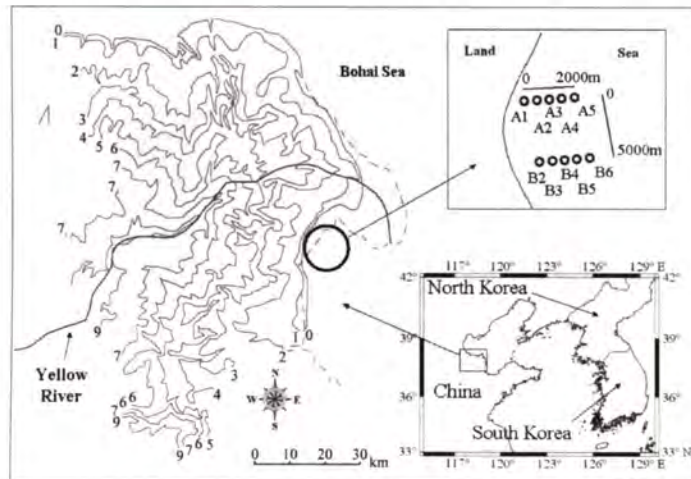


図1. 調査地域概要図

2. 測定結果

測定の結果、測定を行った全地点において地下水湧出が確認された。それらの結果の平均値を図2に示す。それを見ると各地点の地下水湧出量は地点により大きく異なり、沖へ向かうほど湧出量は減少するなどの傾向は見られない。特に高い湧出量が得られている地点は、A2（海岸から1000m）、A4（2000m）である。また図2の結果より、陸から3250mまでの距離を対象として、単位海岸線あたりの地下水湧出量の算出を行った。方法は、得られた地下水湧出量のそれぞれの値に、その測定地点が対応する距離を乗じて（A1であれば750m、A2であれば500m（2004年9月）、図3参照）、それらを合計し単位海岸線あたりの湧出量を算出した（図3）。その結果、2004年9月にはラインAでは1905.3m³/d、ラインBでは1035.1m³/dという結果が、また、2005年5月にはラインAでは1324.9m³/d、ラインBでは646.4m³/dという結果がそれぞれ得られた。2004年9月と2005年5月の結果を比較すると、全体的に2004年度の方が高い湧出量が得られている。図4は2003年9月から2005年9月までの黄河流量（利津）であるが、2005年5月よりも2004年9月の方が流量は大きい。またデルタ班では黄河デルタ地域の複数の井戸において地下水位の連続測定を行っているが、その結果も黄河流量と同様に、2004年9月の方が高い水位を示している。これらの影響により、2004年9月の方が高い海底地下水湧出量が得られたものと考えられる。また、ラインAとラインBの結果を比較すると、2004年9月・2005年5月ともにラインAの方が高い湧出量が得られている。この原因については未だ明らかにされていないが、地下水流出に影響を与える要因としては、湾の形状や波などの要因が考えられるため、そのような要因の影響を受けやすい地点にあるか否かによるもの

と推測される。

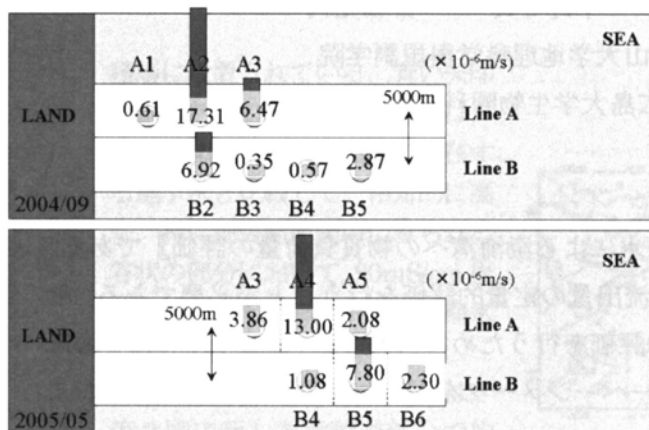


図 2. 地下水湧出量測定結果

(上図 - 2004 年 9 月、下図 - 2005 年 5 月)

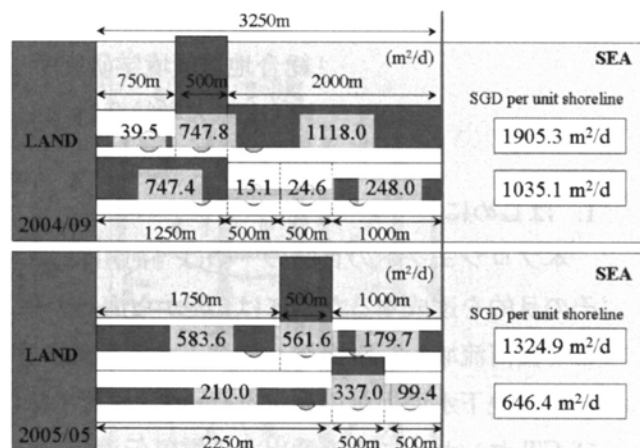


図 3. 単位海岸線あたりの地下水湧出量

(上図 - 2004 年 9 月、下図 - 2005 年 5 月)

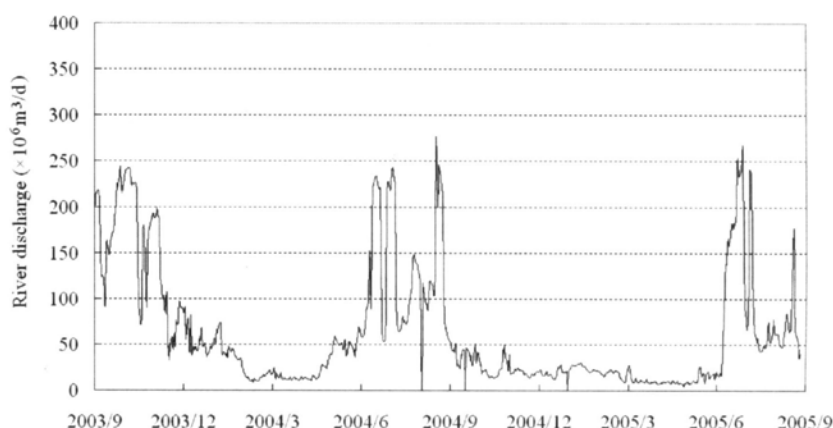


図 4. 黄河流量 (利津)

3. 黄河デルタからの地下水湧出量

次に、図 3 で得られた単位海岸線あたりの地下水湧出量に黄河デルタの海岸線の長さを乗じて、黄河デルタ全域沿岸の地下水湧出量の評価を行った。黄河デルタの海岸線の長さを 113km (地図から読み取った値) とし、地下水湧出量を乗じた結果を表 1 に示す。表 1 より 2004 年の地下水湧出量は $116,963,136 \sim 215,302,968 \text{ m}^3/\text{d}$ 程度、2005 年は $73,028,736 \sim 149,718,672 \text{ m}^3/\text{d}$ 程度と推定される。黄河流量 (利津) については、2004 年 9 月の平均値は $58,406,400 \text{ m}^3/\text{d}$ 、2005 年 5 月は $12,512,392 \text{ m}^3/\text{d}$ であり、その値と地下水流出量を比較すると地下水流出量の方が大きい。このように地下水流出量の方が大きくなる理由としては、この値には再循環水が含まれることが挙げられる。海底からの湧出水には陸域由来の地下水に加え、海水が海底下に潜り再び海洋中へと湧出する再循環水が含まれることが近年の研究により明らかにされている (Taniguchi.,2002)。従って、上述の地下水流出量の値は海底直下からの水輸送量であり、陸域からの水輸送量として考えるためには、湧出水の陸域地下水成分と再循環水成分の分離を行わねばならない。そこで、湧出水・海水・陸域地下水の電気伝導度の値を用いて、湧出水を陸域地下水成分と再循環水成分に分離し、2004 年 9 月における陸域由来地下水のみの湧出量を算出した。その結果を図 5 に示す。図 5 中の上図は湧出量の平均値を、また下図は単位海

岸線あたりの湧出量をそれぞれ示す。またそれらの値を用いて、黄河デルタからの陸域由来地下水流出量の値を算出した結果を表 2 に示す。その結果、黄河デルタからの地下水湧出量は 1,750,054～5,142,766m³/d 程度と考えられる。この結果と 2004 年 9 月の黄河流量の平均値を比較すると、黄河流量に対する地下水流出量の割合は 2.9～8.5%程度と考えられる。Taniguchi et al (2002) では河川流出量に対する地下水流出量の割合のレビューを行っている。それによるとその割合は数%～10%程度と推測されており、今回の結果もその程度の値を示している。

	計算に用いた湧出量の結果	黄河デルタからの地下水流出量
2004/9	Line A	215,302,968
	Line B	116,963,136
2005/5	Line A	149,718,672
	Line B	73,028,736

表 1. 黄河デルタからの地下水湧出量 (単位 m³/d)

	計算に用いた湧出量の結果	黄河デルタからの地下水流出量
2004/9	Line A	1,750,054
	Line B	5,142,766

表 2. 黄河デルタからの地下水湧出量 (単位 m³/d)

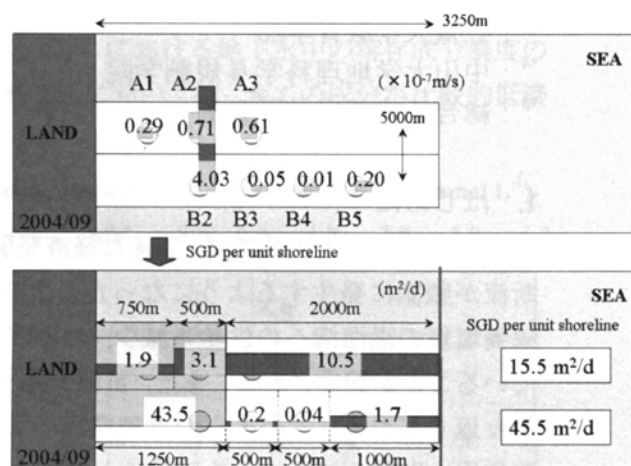


図 5. 陸域由来地下水湧出量 (2004 年 9 月)
(上図 - 平均値、下図 - 単位海岸線あたりの湧出量)

4. まとめおよび今後の課題

今回の報告のまとめは以下の通りである。

- ・ 海底からの地下水湧出量の定量的評価を行った
- ・ 黄河デルタ全域沿岸での海底からの地下水流出量を推定し、黄河流量 (利津) との比較を行った
- ・ 黄河デルタからの陸域由来地下水の流出量を推定し、黄河流量 (利津) との比較を行った

また今後の課題としては、まず測定精度の向上が挙げられる。広大な黄河デルタに対して、地下水湧出量の直接測定を行った地点はわずかに 2 測線である。この 2 測線は堆積作用が進む地域に位置し、今後、侵食作用が進む地域のように他の特徴的な地域での測定を行いたい。また、測線中で測器の設置は 500m 間隔毎であり、広い間隔での設置を行ったのみである。この点については、光ファイバー温度レーダーによる測定を行い、対処したいと考えている。夏季であれば、海水温と地下水温の温度差により、海底面温度に地下水湧出の影響が表れることが予想される。この測器は 1m 毎に温度を測定する測器であり、従ってシーページメータによる湧出量の直接測定と、この温度測定を組み合わせることにより、より密で精度の高い評価が期待される。その他、海班の測定結果との比較が挙げられる。再循環水を含む海底直下からの地下水湧出量に、物質輸送の点を考慮し物質フラックスの評価を行い、海班との比較を行う予定である。また、陸域由来地下水湧出量より物質フラックスを行い、陸から海への物質輸送の点についても評価を行う予定である。

参考文献

Taniguchi, M., W.C. Burnett, J.E. Cable, J.V. Turner. (2002) Investigation of submarine groundwater discharge. *Hydrol. Process.* 16, 2115-2129.

水質プロファイル解析に基づく黄河デルタ地下水中での溶存窒素の動態

齋藤 光代^{*1}・小野寺 真一^{*2}・宮岡 邦任^{*3}・林 政輝^{*1}・陳 建耀^{*4}・谷口 真人^{*5}

^{*1}：広島大学大学院生物圏科学研究科, E-mail: misaito@hiroshima-u.ac.jp

^{*2}：広島大学総合科学部

^{*3}：三重大学教育学部

^{*4}：中山大学地理科学与规划学院

^{*5}：総合地球環境学研究所

1. はじめに

中国・黄河の下流域では、急速な経済発展にともなう水利用の増大により、1990年代より断流が頻繁に発生するようになった。この黄河断流は、河川流量の減少とそれにとともなう栄養塩類の渤海湾への供給量減少、および黄河デルタ地域の地下水の水質等に影響を与えていることが想定される。また、黄河デルタは、近年河口の位置の変遷による堆積・侵食を繰り返しており、このような堆積環境の大きな変化は、沿岸域の地下水－河川水－海水相互作用に影響を与えている可能性がある。

本研究では、近年におけるこれらの急激な水環境変化が、黄河下流域から沿岸域までの物質循環に与える影響を明らかにすることを念頭に置き、黄河デルタ地域において、鉛直方向および水平方向での地下水の水質プロファイル解析を行い、特に溶存窒素に注目し、その動態について明らかにすることを目的とした。

2. 調査地域および方法

図1に、調査地域の概要を示す。調査の対象としたのは、図中に白丸で示した、黄河デルタ地域に分布する掘抜き井戸（N1～N5, N6～N10, DO29, S: 計12地点）である。

2005年5月に、各井戸において地下水面の高さを測定するとともに、地下水の採水を行った。鉛直方向での化学プロファイルを確認するため、採水は、井戸孔内で採水器を地下水面から井戸底に向かって静かに沈めていき、スクリーンが設置してある深度ごとに一定時間静止させた後、ハンドポンプで吸引する、という方法で行った。なお、観測時の気温は地下水温とほぼ等しかったことから、地下水の対流による鉛直方向での混合はないものとした。採水深度は、平均して地表面から約20mであり、最大で約50m（地点S）である。採水した地下水は、現地において電気伝導度、水温、pHおよび溶存酸

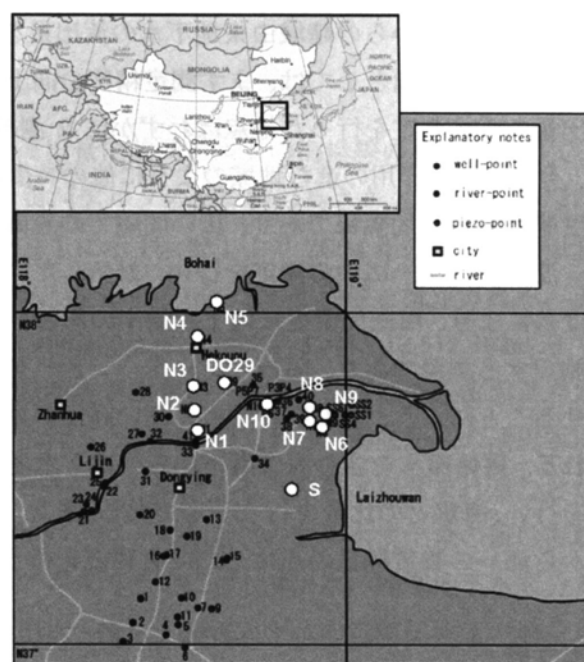


図1 調査地域概要

素濃度 (DO) の測定を行った。

また、採水した試料水は実験室に持ち帰り、主要陽イオン (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})、陰イオン (NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-})、溶存シリカ (SiO_2)、溶存有機態炭素 (DOC) および溶存窒素 (DN) 濃度の定量分析を行った。

3. 地下水流動にともなう鉛直水質プロファイルの変化

図 2 に、比較的黄河の近傍に位置する DO29 (図 1) における地下水中の溶存成分濃度の鉛直プロファイルを示す。地下水面付近の深度約 2m においては、全ての成分が比較的低濃度を示すのに対し、10m

より深部では、 Cl^- , $\text{SO}_4\text{-S}$, SiO_2 , DN が浅部よりも高濃度を示しており、特に、 Cl^- 濃度は $300\sim 600\text{meq L}^{-1}$ と海水よりも高い値を示す (海水：約 280meq L^{-1})、Miyaoka et al. (2006) によれば、黄河デルタ地域の地下水は、全体的に見て川側から海側へ

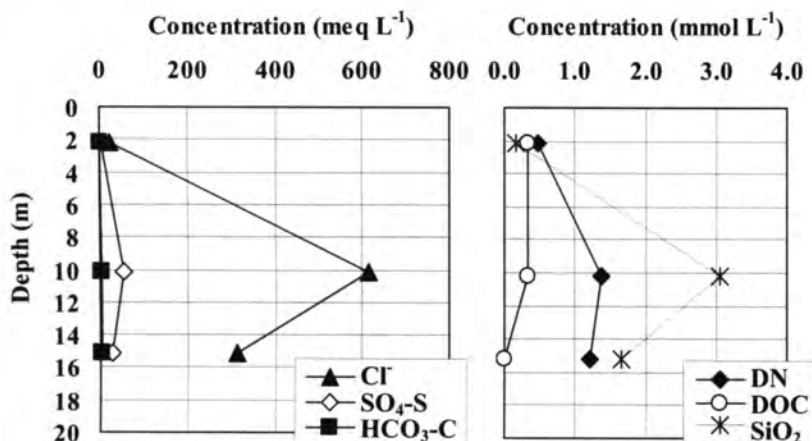


図 2 DO29 における鉛直水質プロファイル(0を地表面)

向かう流動方向を示すことから、この地域は、地下水涵養域に相当すると考えられる。よって、比較的浅い地下水は、黄河からの涵養の影響を受け、低濃度を示すと考えられる。また、Chunting, et al. (1995) よれば、黄河河口域の地下約 10m より深部には、氷期以前に形成された海成層が分布していることから、比較的深い部分の地下水は、海成層からの溶脱の影響を受け、高塩分を示している可能性がある。

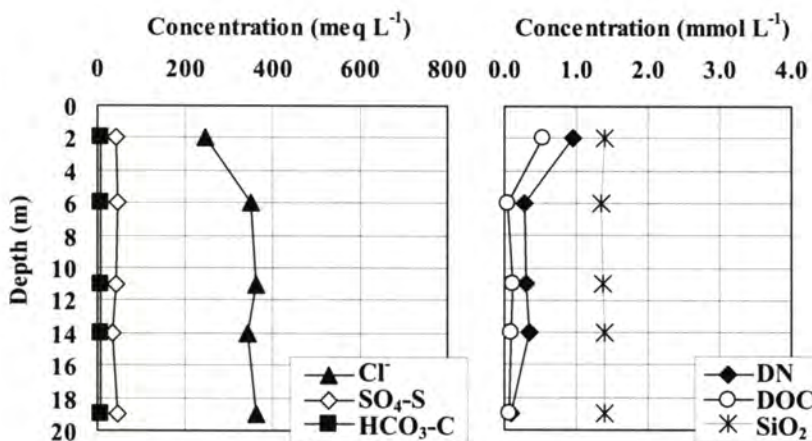


図 3 N9 における鉛直水質プロファイル(0を地表面)

また、図 3 に黄河の南側沿岸部に位置する N9 (図 1) におけるプロファイルを示す。N9 では、DO29 と対照的に、鉛直方向での大きな濃度勾配はみられない。この地域は、地下水流動系における流出域に相当すると考えられることから、地下水の流動方向が上向きになり、浅部の低濃度の地下水と深部の高濃度の地下水とが混合し、濃度が均一化していることが

示唆される。

4. 沿岸域における溶存窒素濃度の減衰

図3より、沿岸域に位置するN9における地下水のDN濃度は、地下水面近傍では約 1.0mmol L^{-1} であるのに対し、深度20m付近では、 0.1mmol L^{-1} 以下と低くなっていることが分かる。

ここで、前述したデルタ地域における地下水の流動方向、および沿岸域における浅い地下水と深い地下水との混合を考慮すると、N9の深部の地下水は、N8(図1)の地下水とN9の浅部の地下水との混合によって形成され

ていると仮定できる。図4に、N9とN8の地下水、および海水のCl濃度とDN濃度との関係を示す。N8の値は、各深度の濃度の加重平均値である。ここで、前述の仮定が成り立つとすれば、N9深部の地下水の濃度は、N8の地下水とN9浅部の地下水との単純混合で説明できる

はずである。しかし、実際は混合線よりもDN濃度が低く、Cl濃度が高い位置にプロットされる。さらに、Cl濃度は海水よりも高い値を示す。この結果から、単純混合および海水による希釈だけではなく、脱窒などの作用により、地下水中で溶存窒素の消失が起こっている可能性が考えられる。しかし、沿岸域においても、表層から深度約20mまでの地下水で平均 $0.3\sim 0.9\text{mmol L}^{-1}$ のDN濃度が検出されていることから、この区間の地下水流動は、海洋への窒素流出に寄与していると考えられる。

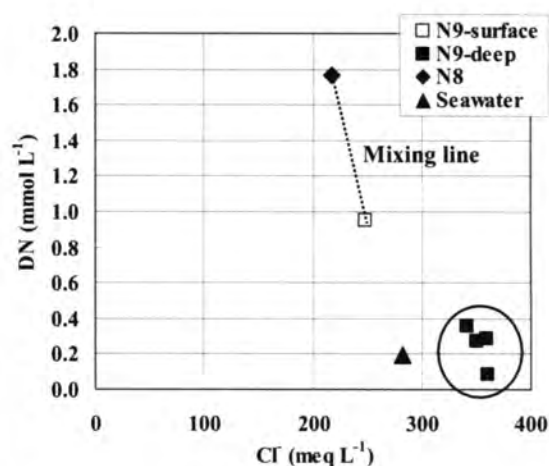


図4 沿岸域における地下水および海水のCl濃度とDN濃度との関係

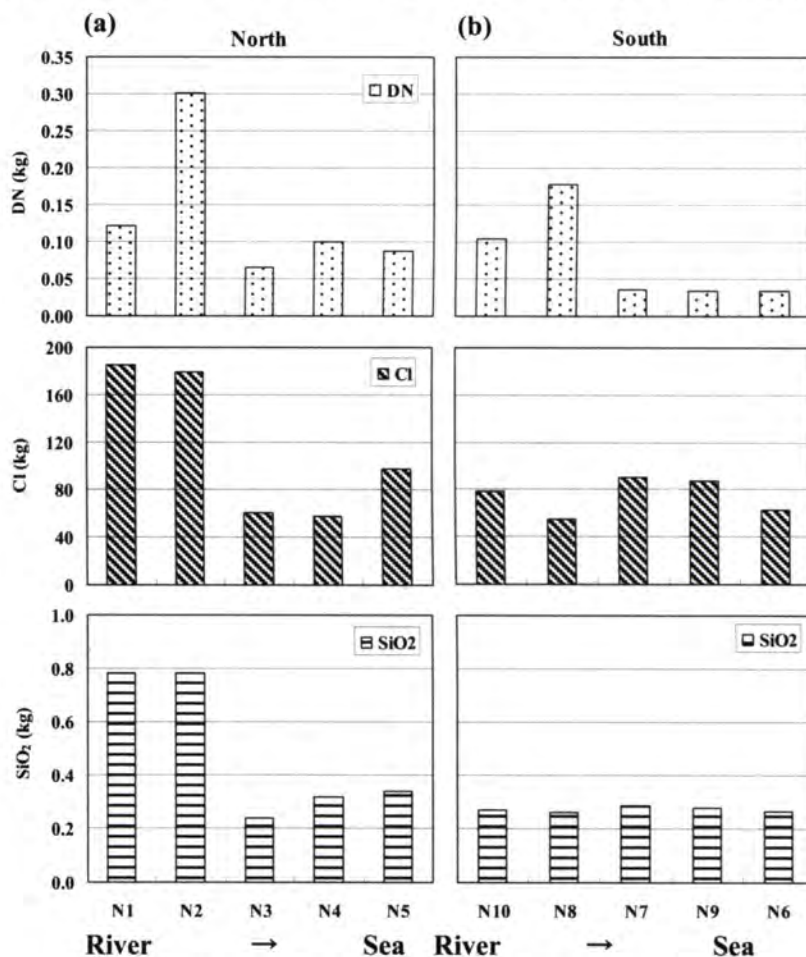


図5 各井戸における帯水層のDN, Cl, SiO_2 含有量
(a: 黄河北側, b: 黄河南側)

5. デルタ地域における帯水層の溶存窒素含有量の分布

図5に、不飽和帯の厚さを2m、飽和帯の厚さを18m、間隙率を40%として算出された、各井戸における帯水層のDN, Cl, SiO₂含有量(蓄積量)を示す。DN含有量は、黄河の北側(図5a)および南側(図5b)ともに黄河近傍(N1, N2, N10, N8)において高い傾向を示す。この地域には農地が分布していることから、肥料等の窒素インプットの影響を受けている可能性がある。しかし、北側のN1およびN2においては、DN以外のClおよびSiO₂含有量も他の地点と比較して極端に高い傾向を示す(図5a)。この結果から、N1およびN2における地下水は、現在のデルタ地域の主要な地下水流動とは連動しておらず、古海水などが濃縮された状態で存在している可能性が高いと考えられる。一方、沿岸域においては、黄河近傍と比較して全ての成分の含有量が小さい傾向を示す。沿岸域でDNの含有量が小さい原因としては、脱窒による消失なども考えられるが、デルタ地域の地下水の流動速度は、約100m y⁻¹と非常に遅いと推定される(小野寺ら、2006)ことから、黄河近傍の涵養域で観測されたような高濃度の地下水は、現時点では沿岸域にまで到達していないという可能性も考えられる。

参考文献

- Chunting, X., Z. Xionghua and L. Hemaio (1995): Holocene sedimentary sequence, foraminifera and ostracoda in west coastal lowland of Bohai sea, China. *Quaternary Science Reviews*, 14, 521-530.
- Miyaoka, K., M. Taniguchi, S. Onodera, J. Chen, T. Tokunaga and G. Liu (2006): Physical and chemical features of groundwater in Huanghe (the Yellow River) delta, China. *Hydrogeology Journal*, (submitted).
- 小野寺真一・谷口真人・宮岡邦任・齋藤光代・石飛智稔・陳建耀(2006): 黄河デルタ地下水の海洋への物質負荷, 黄河プロジェクト合同研究会要旨集.

黄河デルタ地下水の海洋への物質負荷

小野寺真一（広島大学総合科学部），谷口真人（総合地球環境学研究所），宮岡邦任（三重大学），
斎藤光代（広島大学大学院），石飛智稔（総合地球環境学研究所），陳 建耀（中山大学）

1. はじめに

陸域からの物質輸送は、沿岸海洋環境に大きな影響を及ぼすため、従来から多くの研究が行われてきた（Burt et al., 1993；福岡，2004 など）。近年、世界の大河川流域における水・物質収支にもとづき、地下水による海洋への物質輸送の重要性が指摘されてきた（Zektser and Loaiciga, 1993；Burnett et al., 2001 など）。ただし、世界の大河川の一つである黄河は、上・中流域における最近 20 年間の過剰な水利用にともない、下流域で断流が生じていることが報告されている（陳ら，2004）。このことは、河口デルタ地域における地下水および海洋に対して、大きな影響を及ぼしていると想定されるが、その現状は解明されていない。これらを解明していくために、総合地球環境学研究所の福島を代表とする国際共同研究（Fukushima, 2003；

Taniguchi, 2003）が 2003 年から始まった。

本研究では、黄河デルタ地域における地下水の物質輸送について、地球化学的なデータと水理学的な情報を基に、評価することを目的とした。



図1 調査地域

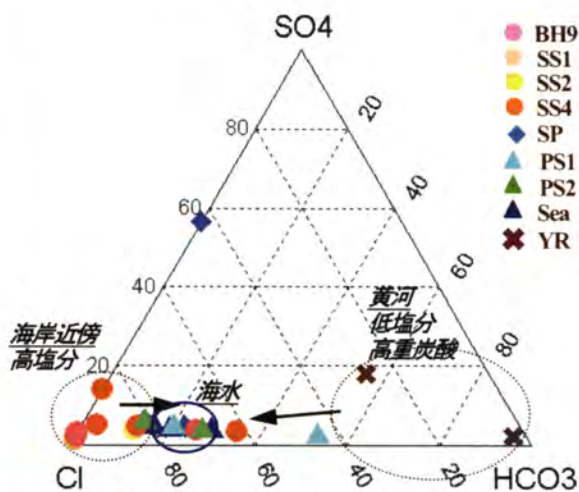


図2 地球化学特性；陰イオン組成

2. 研究方法

黄河河口域において、ピエゾメータ（SS 地点他）及び既存の井戸（BH9 他）から地下水を採水し、ピエゾメータ及びシーページメータ（A 地点、B 地点）から海底地下水を採水した（図1）。採水時期は、2003 年 9 月、2004 年 5 月と 9 月、2005 年 5 月の計 4 回である。海底地下水については、後半 2 回の採水のみである。なお、5 月は乾季で低水流量時期であり、9 月は雨季で高水流量時期である。

また、採水した試料水は実験室に持ち帰り、 HCO_3^- 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} はイオンクロマトグラフィーで、 SiO_2 及び主要塩基は ICP 発光分析器で、DOC、DN 濃度は TOC 分析器で、P は分光光度法で定量分析を行った。

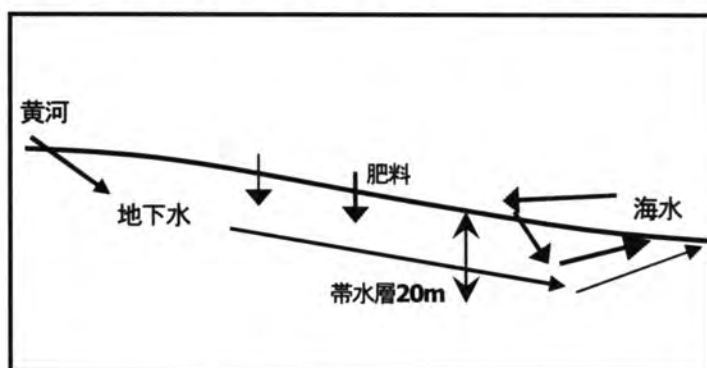


図3 地下水流動の概念

3. デルタ地域の地下水流動と地球化学特性

河川近傍、海岸近傍のピエゾメータの水圧分布は、それぞれ河川から周辺地下水、デルタ地下水から海洋への地下水流動を示した。ただし、地球化学特性

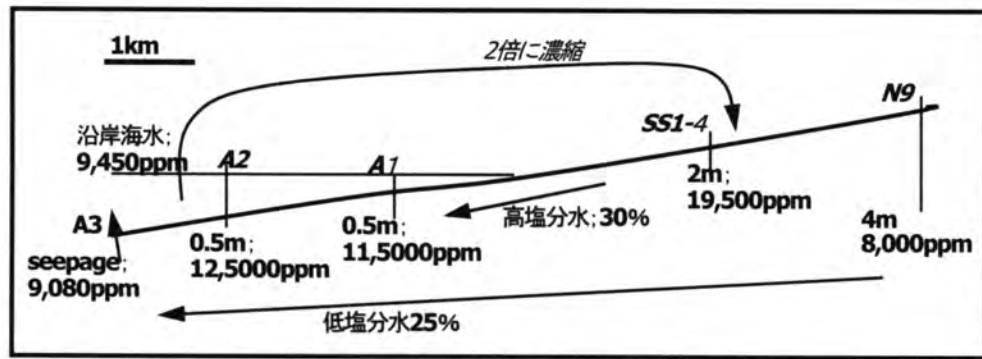


図4 沿岸付近における塩分 (Cl 濃度) 分布と海洋への地下水流出率 (2004 年 9 月)

(図2) は、河川から地下水、地下水から海洋への一連の濃度上昇傾向という傾向を示していない(齋藤ら, 2006)。河川近傍では河川水の影響を受けて低濃度であり、河川から地下水への涵養が活発に起きていることが示された。一方、沿岸域地下水では、海水の影響を受けていることが示された。特に、一部では、海水中の塩分濃度の5倍にも達する地下水も確認された。これは、単なる蒸発濃縮過程ではなく、堆積物との相互作用もあることが示唆された。

このように、デルタ地下水に関する物質循環には、窒素の農地での選択的な供給、不均一な塩分の淡水への置き換え、沿岸域における養殖池などからの塩水の再涵養(図4)などの影響を受けるため、複雑な傾向を示すものと考えられる(図3)。また、肥料起源の栄養塩は、流出域まで到達していない傾向を示した(齋藤ら, 2006)。

4. 海底地下水湧出

海洋への地下水による物質負荷に関しては、主に黄河起源の地下水と海水起源の人為的再循環水との混合した沿岸地下水がそれぞれ流出していると考えられる。海底地下水湧出に関わる水として、A1,A2,A3の各3地点でピエゾメータまたはシーページメータから採水された。2004年9月に採水されたそれぞれの水の塩素イオン濃度は、A1,A2地点では海水中の濃度より高く、A3地点では海水中の濃度より低かった。これは、より沿岸では高塩分の沿岸地下水が、より沖では低塩分の黄河起源地下水が流出していることを意味する。

ここで、各海底地下水湧出水に関して、塩素イオン濃度(図4)を基に地下水流出と潮間帯付近で浸透した海水の再循環水を分離する。その結果、A1,A2地点では、高塩分地下水が30%程度海底地下水湧出に寄与し、残りは潮間帯において海水が浸透し再流出したものである。一方、A3地点では、低塩分地下水が25%程度流出に寄与していることを示した。すなわち、沖に行くほど潮間帯で浸透し再流出する海水の割合が

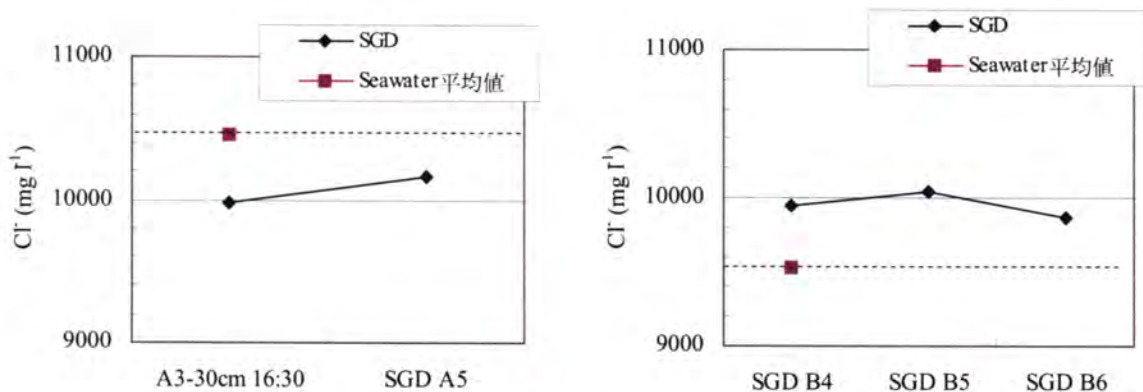


図5 潮間帯地下水の塩分 (Cl 濃度) 分布. 地点名の数字が大きいほど沖 (2005 年 5 月)

増加する傾向を示した。

図5は、2005年5月にA地点及びB地点周辺において採水した海水の塩素イオン濃度の平均値と潮間帯地下水の塩素イオン濃度を示したものである。この時期、潮間帯地下水の塩素イオン濃度は、地点による差は大きくない。一方で、海水は地点による差が大きい傾向を示す。すなわち、この時期、2004年9月（図4）でみられたような、A地点の沿岸と沖合いにおける地下水の塩素イオン濃度の差はみられなくなっている。これは、5月期に河川流量の減少にともなって、黄河起源の地下水の動水勾配が小さくなり、9月期には沖合いに湧出していた低塩分地下水が、湧出できなくなっている可能性が示唆される。ただし、海岸線の位置が、9月期にはA1付近であったのに対して、5月期にはA3付近になっており、また、海水の塩素イオン濃度も高くなっているため、高塩分地下水の流出を考慮しなくても地下水流出を説明できる。今後、海岸線の変化、海水の塩素イオン濃度の変動、地下水中の濃度分布を考慮した評価が必要である。

また湧出量について、ダルシー則にもとづき算出する。黄河起源の地下水流出量は、動水勾配がデルタの勾配(0.001)に一致し、滞水層の厚さが20m、飽和透水係数が $10^{-1} \text{ cm s}^{-1}$ とすれば、 $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ となる。また、再循環水の流出量は、沿岸部のピエゾメータより観測された動水勾配が0.002、滞水層の厚さが4mとすれば、 $0.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ となる。2つの合計で、 $3 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ となる。また、黄河の利津付近から放射状にデルタを地下水が流動しているものとして、扇状の末端である海岸線の距離を170kmとして積分すると、地下水流出量は $4.4 \times 10^5 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ と見積もられた。Mi (2006)によれば、2005年5月の河川流出量が $9 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ であることから、地下水流出量は、河川の5%程度であることが明らかになった。これは、従来の研究(Zektser and Loaiciga, 1993; Burnett et al., 2001 など)の大河川流域の結果とほぼ同等である。

表1 河川、地下水、海水の各栄養塩濃度

	Si	P	N
河川;	0.11	0.0024	0.51
BH9 地下水;	1.38	0.028*	0.25
A3 海底地下水 0.3m;	1.33		0.30
A5 SGD;	1.30		0.20
海水 A5 ;	1.20	0.001**	0.13

*N5 地下水を使用、**海班 No.3 地点の値

***濃度の単位:(mmol L⁻¹)

5. 栄養塩流出

前述の地下水流出量と栄養塩濃度との積から、栄養塩流出量を見積もる。それぞれの地下水及び河川の栄養塩濃度(2005年5月)は、表1の通りである。地下水中の濃度は、窒素が河川に比べて低いのにに対して、リンやシリカは河川の濃度より1オーダー以上高い。

栄養塩流出量を見積もった結果を、表2に示す。河川流出量を100とした値で表している。溶存窒素に関しては、地下水流出の寄与は河川のわずかに2%に過ぎない。これは、農業起源の窒素が海岸までたどり着いていないことなども影響していると考えられる。しかし、リンやシリカに関しては、河川流出量に匹敵する流出量が見積もられた。これらの成分の海洋へのインプットとして、地下水流出が重要であることを、改めて示した。今後は、季節変化などの要素も含めて評価していくことが必要である。

また、地下水(BH9)と海水(A5)の混合で海底地下水が形成されていて、その混合比が前述のよ

表2 水の流出及び栄養塩(溶存窒素、溶存シリカ、全リン)流出量

	river	groundwater
Flow	100	5
DTN 濃度	100	50
流出量	100	2.4
DSi 濃度	100	1190
流出量	100	60
TP 濃度	100	1000
流出量	100	50

* 河川を100とした指標で表す

うに3:7であるとする、海底地下水 (A5) の濃度は計算によって見積もることができる。溶存窒素及びシリカについて見積もった結果を表3に示す。それぞれ、溶存シリカが1.29、溶存窒素が0.25となる。実測値は、それぞれ1.30、0.20であり、溶存シリカは実測値の方が高く、溶存窒素は実測値の方が低い。これは、溶存シリカが、潮間帯で海水が海底地下水に浸入し混合したときに溶出していることを意味する。すなわち、わずかではあるが、海水の再循環にともなって栄養塩を流出していることになる。この点に関して、今後より高い精度で評価していくことが必要である。一方で、溶存窒素は、地下水が海底にたどり着く前に、一部消失していることを意味する。すなわち、脱窒などの影響であろうと考えられる。

結果として、栄養塩のバランスは、河川が窒素流出に主に寄与し、地下水がリン流出及びシリカ流出に寄与していることが確認できた。もし、断流によって地下水流出成分が減少すれば、海洋の栄養塩バランスも、シリカやリンの減少という形へ、大きく変化していたと考えられる。

引用文献

- Fukushima (2003) 黄河プロジェクトニュースレター
 Mi (2006) 黄河河川調査報告書
 齋藤ら (2006) 黄河プロジェクト論文集
 Taniguchi (2003) 黄河プロジェクトニュースレター

表3 海底地下水の実測栄養塩濃度と推定濃度
 (地下水と海水の混合のみを考慮して算出)

	実測地	計算値
N	0.20	0.25
Si	1.30	1.29

* 濃度の単位: (mmol L⁻¹)

**リンは海底地下水の計測値がない

Water use and its impact zone in the lower reach of the Yellow River

Jianyao Chen^{1,2}, Yoshihiro Fukushima², Makoto Taniguchi²

¹School of Geographical Science and Planning, Zhongshan (Sun Yat-sen) University, Guangzhou 510275, China

²Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto 602-0878, Japan

Abstract

The lower reach of the Yellow River is defined as the zone from Huayuankou to Lijin with an administrative area of about $4.43 \times 10^4 \text{ km}^2$ and population of about 2.5×10^7 , including 15 cities and 83 counties. The area irrigated by the diverted water from the Yellow River within this zone is about $1.93 \times 10^4 \text{ km}^2$. This area is not only related to the Yellow River, but also to Huahe and Haihe basins as the drained water from the irrigated area is the inflow of these two rivers, and could be regarded as the impact zone of the lower reach from the view of water diversion. Water shortage has affected this area since 1990s, and drying up has occurred several times in the main channel of the Yellow River due to over exploitation and climate change. The objective of the study is to identify the spatial and temporal change of water use in the lower reach over the last 50 years, and the causes of these changes.

Keywords: water use, impact zone, lower reach, Yellow River

1 Introduction

The lower reach of the Yellow River is defined as the zone from Huayuankou to Lijin with an administrative area of about $4.43 \times 10^4 \text{ km}^2$ and population of about 2.5×10^7 (Ruan, 1997)(Fig.1). This is an important agricultural area with an irrigated area of about $1.93 \times 10^4 \text{ km}^2$ (in 1990) by using the water diverted from the Yellow River (CDCID, 2002; Xi, 1999), accounting for about one-third of total irrigation area of the whole basin. Since much of sediment precipitates in the lower reach, raising the riverbed, the Yellow River is higher than the riparian zone, i.e., the Yellow River is a suspended river in the lower reach. Therefore, water use in the lower reach is outside of the basin and related not only to the Yellow River but also to the Haihai River (within North China Plain) and Huihe River.

Water shortage is serious recently in the lower reach due to decreasing inflow at Huayuankou station and high demand for domestic, industrial and agricultural water use, especially in the North China Plain. In case of water crisis, the Yellow River was even diverted to supply water for Tianjin City. Drying up in the main channel of the Yellow River has thus occurred several times since 1972. Rational water allocation and use is a big issue in the management of the whole basin, and may

affect environmental problems, such as flooding control, coastal sediment and erosion. The main objective of this study is to identify the spatial and temporal change of water use in the lower reach over the last 50 years, and the causes of these changes.

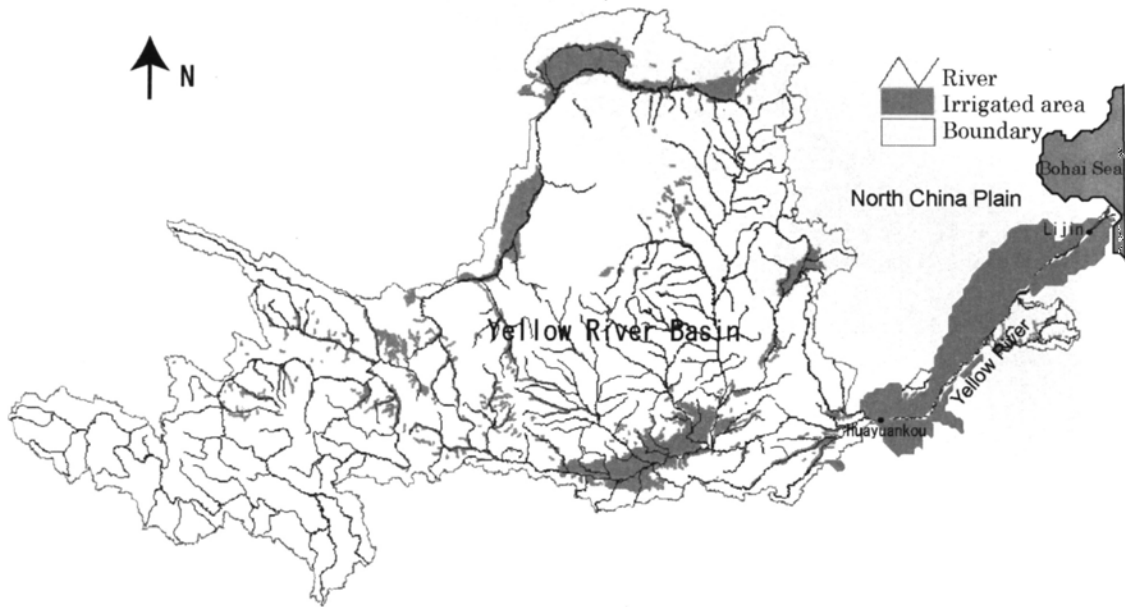


Fig.1 Schematic map of the Yellow River basin and irrigated area, and location of the lower reach. Map of irrigated area was modified after Xi (1999) and YRCC (2002).

2 Methodology

Water use (W_{use}) is estimated based on the difference of monthly discharge at Huayuankou and Lijin stations:

$$W_{use} = FL_H - FL_L$$

FL_H , FL_L are the discharge at Huayuankou and Lijin respectively. Annual water use is calculated by summarizing monthly data.

Though it is basically a suspended river in the lower reach and the flow decreases along the main channel, there are three tributaries flowing into the Yellow River, Tianran Wenyan Canal, Jindi River, and Dawen River. Annual average discharge for these three tributaries is about $2.1 \times 10^9 \text{ m}^3$ (Liu and Chen, 2001). Flow is controlled by the gate in the tributaries and there is no inflow to the Yellow River in the dry season. There are four gauging stations between Huayuankou and Lijin (Fig.2), Gaocun, Sunkou, Aishan and Luokou, which are used to calculate the inflows in the lower reach.

W_{use} is thus adjusted by adding the inflow:

$$W_{use}' = FL_H - FL_L + \text{Inflow}$$

Impact zone of the Yellow River in the lower reach is proposed by considering both water diversion and drainage from the irrigated area.

Impact zone in the lower reach of the Yellow River in terms of water diversion

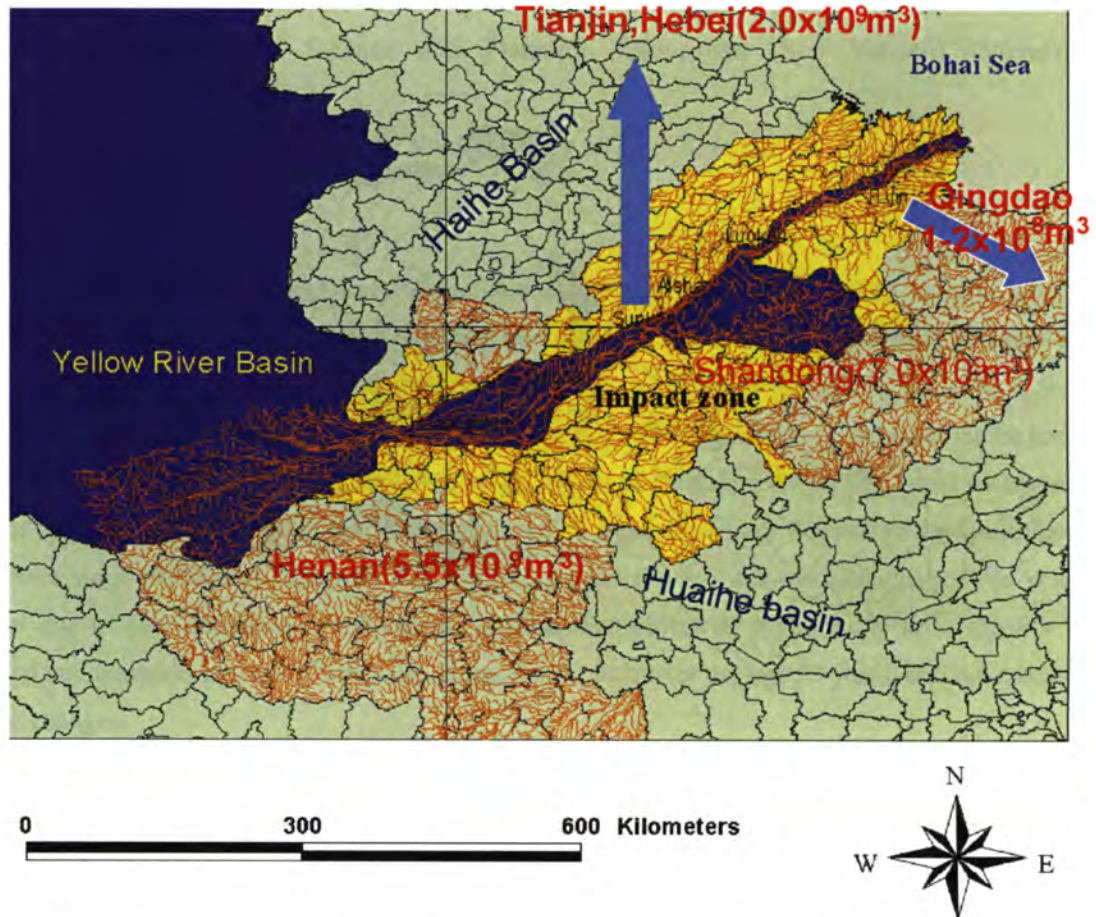


Fig.2 Location of gauging stations in the lower reach and impact zone from the view of water diversion. Data within the parenthesis is the allocation amount for each province or Qingdao City of Shandong Province, proposed by Ministry of Water Resources in 1987 (Xi, 1999).

3 Results

The result shows that annual average discharge at Huayuankou decreases from $4.51 \times 10^{10} \text{ m}^3$ in the period of 1951-1980 to $3.29 \times 10^{10} \text{ m}^3$ in the period of 1981-2000, while that at Lijin decreases from $4.21 \times 10^{10} \text{ m}^3$ to $2.06 \times 10^{10} \text{ m}^3$ respectively, i.e., water used in the lower reach increases about $9.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ in recent 20 years compared to the period of 1950-1980 (Fig 3&4). Too much water was diverted for irrigation during the period of 1959-1961 ("Great Leap"), and salinization occurred as drainage canal was not well constructed. As a result, newly developed irrigation area was abandoned except Renmin Shengli Canal with an irrigation area of $1.62 \times 10^4 \text{ ha}$, and water use reduced sharply

in 1962. Water was diverted again afterwards in the lower reach, and it increased obviously from 1971 to 1980 and then have kept a relatively stable level since the 1980s. Water amount allocated for Henan, Shandong, Hebei and Tianjin is about $1.45 \times 10^{10} \text{ m}^3$. Since some area in Shandong and Henan Province is outside the reach between Huayuankou and Lijin, actual amount allocated for this reach is only $1.38 \times 10^{10} \text{ m}^3$ as indicated by the dash line. It shows clearly that water used in 1981, 1988, 1989 and 1999 is higher than the allocated amount.

Although discharge at Huayuankou decreases after 1960s, water diverted in the reach increases for the irrigation of newly developed land and water supply for Tianjin (Tab 1&2). Water diverted for Qingdao City started in 1989 with annual amount of about $2 \times 10^8 \text{ m}^3$. Ratio of water diversion to the discharge at Huayuankou has increased continuously since 1960s, and more than half of water in the lower reach has been diverted in the 1990s, when the discharge is only about half of that in the 1950s and 1960s (Fig.5). This is considered to be the main reason for the world-known problem of drying up in the main channel.

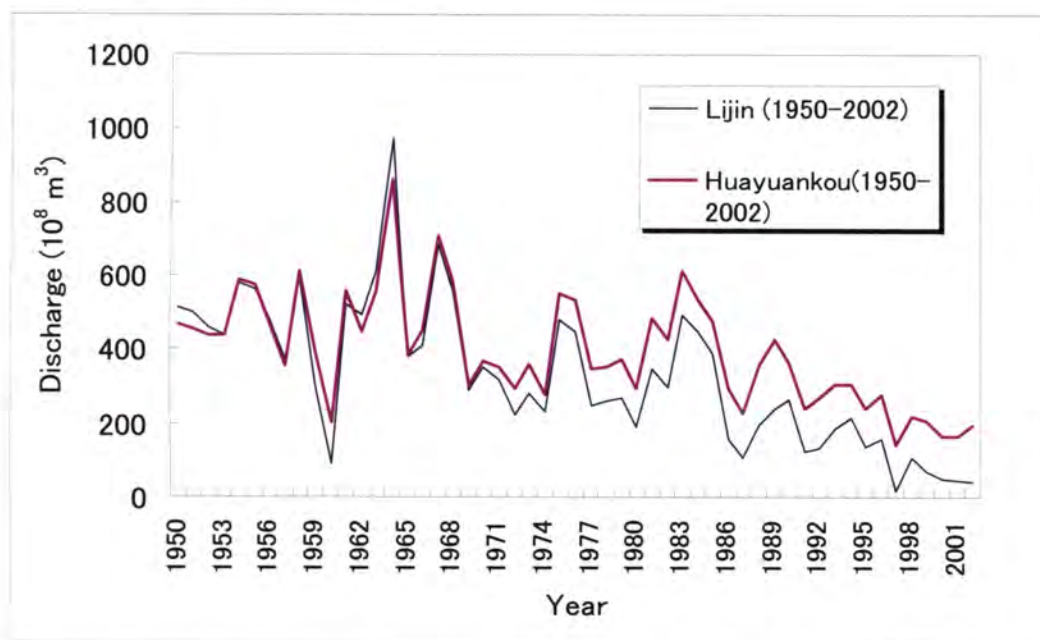


Fig. 3 Annual discharge at Huayuankou and Lijin during the period of 1950-2002

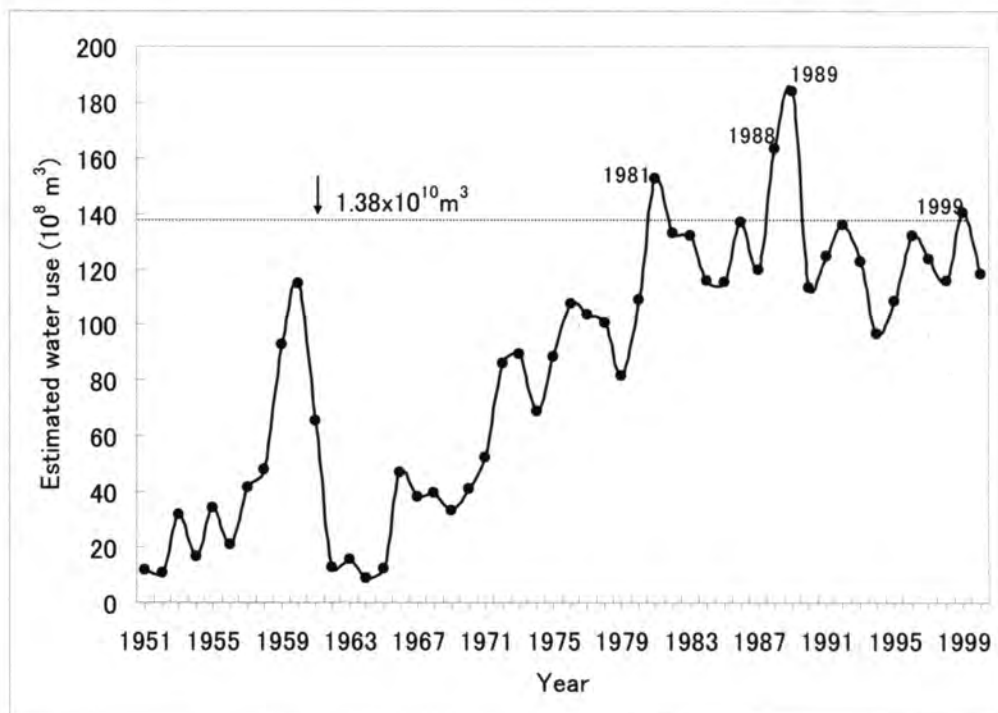


Fig 4 Calculated water use in the lower reach based on the discharge difference between Huayuankou and Lijin. $1.38 \times 10^{10} \text{ m}^3$ is allocated water amount for the lower reach.

Tab 1 Water diversion from the Yellow River to Tianjin City when water crisis occurred (data was compiled based on information provided in the website: www.hwcc.com.cn)

	Period	Route	Amount collected in Tianjin (10^8 m^3)*
1	Nov.11/1972-Feb. 15/1973	Renmin Canal Shengli	1.62
2	May 13/1973-June 28/1973	Renmin Canal Shengli	1.08
3	Sept./1975-Feb.15/1976	Renmin Canal Shengli	4.0
4	Oct.15/1981-Jan.9/1982	Renmin Canal Shengli	4.472(10.023)
	Nov.27/1981-Jan.17/1982	Weishan Canal	
	Nov.27/1981-Jan.15/1982	Panzhuan Canal	
5	Nov.2/1982-Jan.5/1983	Weishan Canal	(2.76)
	Nov14/1982-Jan.5/1983	Panzhuang Canal	(2.35)
6	Oct.13/2000-Feb.2/2001	Weishan Canal	4.08(8.71)
7	Oct.31/2002-Jan.23/2003	Weishan Canal	2.47(6.03)
8	Sept.12/2003-Jan.6/2004	Weishan Canal	5.1(9.25)
9	Oct.9/2004-	Weishan Canal	4.3(9.8) planned

*data within parenthesis is the total amount of water diverted from the Yellow River.

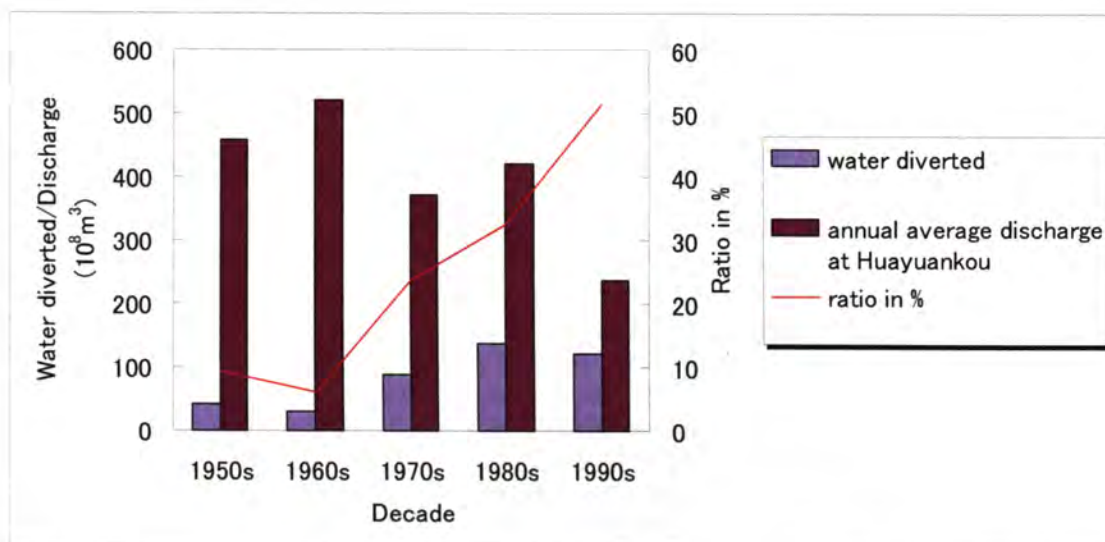


Fig 5 Decade average discharge at Huayuankou, water diverted in the lower reach and ratio of water diversion to the discharge at Huayuankou.

Average monthly discharge at Huayuankou and Lijin stations is given in Fig.6, and the difference between the two stations is equivalent to average monthly water diversion in the lower reach. As we know, the Yellow River basin is affected by monsoon, in which high flow occurs in the wet season (July-Oct) and low flow in the dry season (Nov-June). Water is generally diverted during the period of March to May, when winter wheat grows very fast and evapotranspiration is rather high.

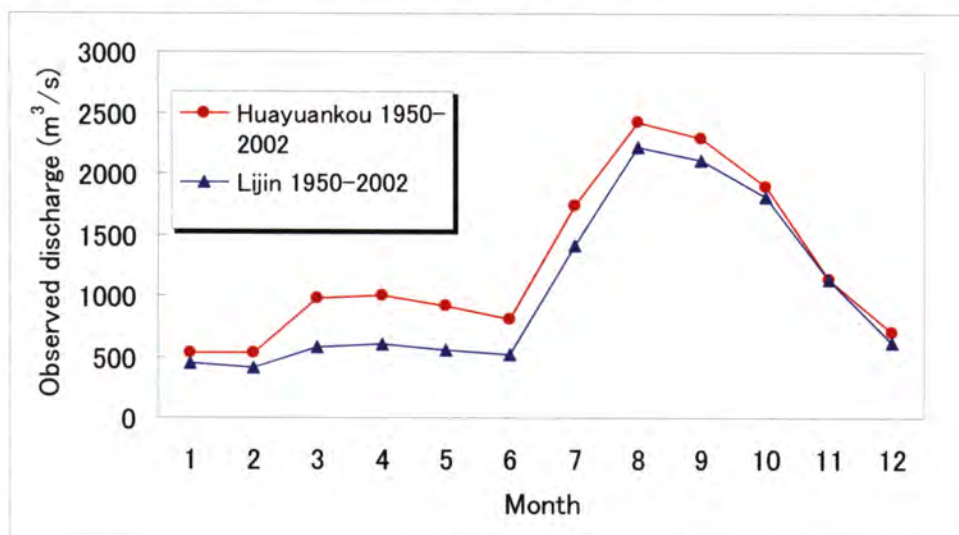


Fig. 6 Average monthly discharge at Huayuankou and Lijin Station during the period of 1950-2002.

Tab 2 Current large irrigation projects in Shandong and Henan Provinces in 2000. The projects inside the bold frame are located within the reach of Huayuankou and Lijin (modified after CDCID, 2002).

Province	Irrigation Project	Location	Current irrigation area (ha)
Henan	Zhaikou	Lingbao	9333.3
	Luhun	Luoyang, Pingdingshan, Zhengzhou, Songshan	34666.7
	Yinqin	Jiaozuo	20600.0
	Guangli	Jiyang, Qinyang etc	20666.7
	Wujia	Xinxiang, Jiaozuo	13333.3
	Renmin Shengli	Xinxiang, Jiaozuo, Anyang	56533.3
	Handongzhuang	Yuanyang Xinxiang	19400.0
	Zhongmouyangqiao	Zhongmou	22866.7
	Xiangfuzhu	Xinxiang, Yuanyang, Yanjin	21333.3
	Zhaokou	Zhengzhou, Kaifeng, Xuchang, Zhoukou etc	244333.3
	Dagong	Xinxiang, Anyang	94000.0
	Liuyuankou	Kaifeng, Qixian, Kaifeng	18266.7
	Sanyizhai	Kaifeng, Shangqiu	120666.7
	Shitouzhuang	Changyuan	20333.3
	Qicun	Puyang, Anyang	97133.3
	Nanxiaodi	Puyang, Qingfeng, Nanle	55333.3
	Penglou	Fanxian	18666.7
Shandong	Yantan	Heze, Dongming	66666.7
	Xiezhai	Heze, Dingtao	48000.0
	Liuzhuang	Heze	34933.3
	Susizhuang	Heze, Juancheng	30666.7
	Suge	Heze, Yuncheng	24666.7
	Yangji	Heze, Yuncheng	20266.7
	Chengai	Jining, Liangshan	28133.3
	Guonali	Jining, Liangshan	20666.7
	Penglou	Liaocheng, Shenxian, Guanxian	85800.0
	Taochengpu	Liaocheng, Shenxian, Yanggexian	49333.3
	Weishan	Liaocheng	338666.7
	Guokou	Liaocheng Donga	22000.0
	Panzhuang	Dezhou	220000.0
	Lijiaan	Dezhou	153333.3
	Tianshan	Jinan, Pingyang, Feicheng	16000.0
	Xingjiadu	Jinan, Jiyang, Shanghe	59533.3
	Chenmengquan	Jinan, Licheng District	16400.0
	Hujiaan	Jinan, Zhangqiu	23066.7
	Liuchunjia	Zibo, Gaoqing	20466.7
	Mazhazi	Zibo, Gaoqing	22000.0
	Hulou	Zouping	25333.3
	Bojili	Binzhou Huiming	51333.3
	Bailongwan	Binzhou Huiming	9666.7
	Xiaokaihe	Binzhou Huiming	44000.0
	Handun	Binzhou Huiming	26666.7
	Dayuzhang	Binzhou Boxing	25333.3
Total area within Huayuankou-Lijin			2.32 million ha

Annual average water diverted in the lower reach during the period of 1980-2000 is $1.28 \times 10^{10} \text{ m}^3$. Based on the flow data at Huayuankou, Gaocun, Sunkou, Aishan, Luokou and Ljin, the amount of water diversion for each sub-reach is calculated by using the same method as mentioned. Tab.3 shows that more than half of the Yellow River water is diverted in two sub-reaches: Huayuankou-Gaocun, and Luokou-Ljin, while irrigate rate is the highest in the reach of Gaocun-Sunkou (Fig. 7).

Tab. 3 Basic information (Ruan, 1997) and water diverted in each reach between Huayuankou and Lijin

Reaches	Huayuankou-Gaocun	Gaocun-Sunkou	Sunkou-Aishan	Aishan-Luokou	Luokou-Lijin	Remarks
Area, km^2	11507.3	2565.2	6400.13	10430.5	13358.82	
Population, 10^4	681.3	232.66	454.11	598.03	535.98	In 1990
Agri. population, 10^4	487.75	205.43	409.11	514.24	458.11	In 1990
Arable land, 10^4 ha.	49.19	19.41	46.18	60.92	58.67	
Irrigation area, 10^4 ha.	40.81	15.71	38.37	49.31	48.39	In 1990
Annual average water diverted, 10^8 m^3	36.6	17.8	17	27.0	29.6	1980-2000 total, 128

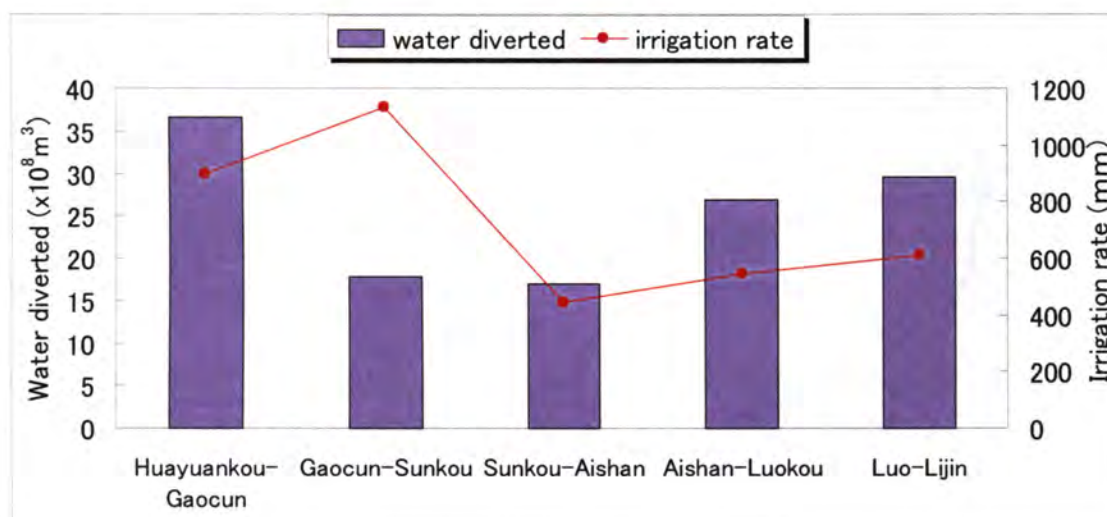


Fig.7 Annual average water diverted in the lower reaches of the Yellow River during the period of 1980-2000

4. Discussions

The impact zone given in Fig. 2 includes only the administrative area where the Yellow river is diverted and irrigated. Actually, a great number of canals were built in both sides of the Yellow River

to drain the irrigated area after the failure of irrigation projects in the 1960s, connecting the Yellow River to the Haihe River in the northern side and the Huaihe River in the southern side. The drainage from the irrigated area is reused as input or inflow to Haihe and Huaihe basins.

The Yellow River has shifted many times in the lower reach and flows in the current channel only after 1855(Chen et al, 2004a). In the case of flooding event and breaching, the Yellow River may flow even to the north as far as to Tianjin, and to the south as far as to Hongze Lake and Gaoyou Lake (Fig.8). Therefore, the impact zone the Yellow River in the lower reach is regarded as equivalent to the flooding area defined by the historical flooding events. Since the discharge at Lijin decreases in the last 20 years, especially in the 1990s, the sediment reduces to an annual level of less than 5.0×10^8 tons (Saito and Yang, 1994), causing the coastal erosion in the estuary. Water use in the lower reach affects the sediment and erosion in Bohai Bay, and Bohai Bay should thus be included in the impact zone of the Yellow River from a comprehensive view.

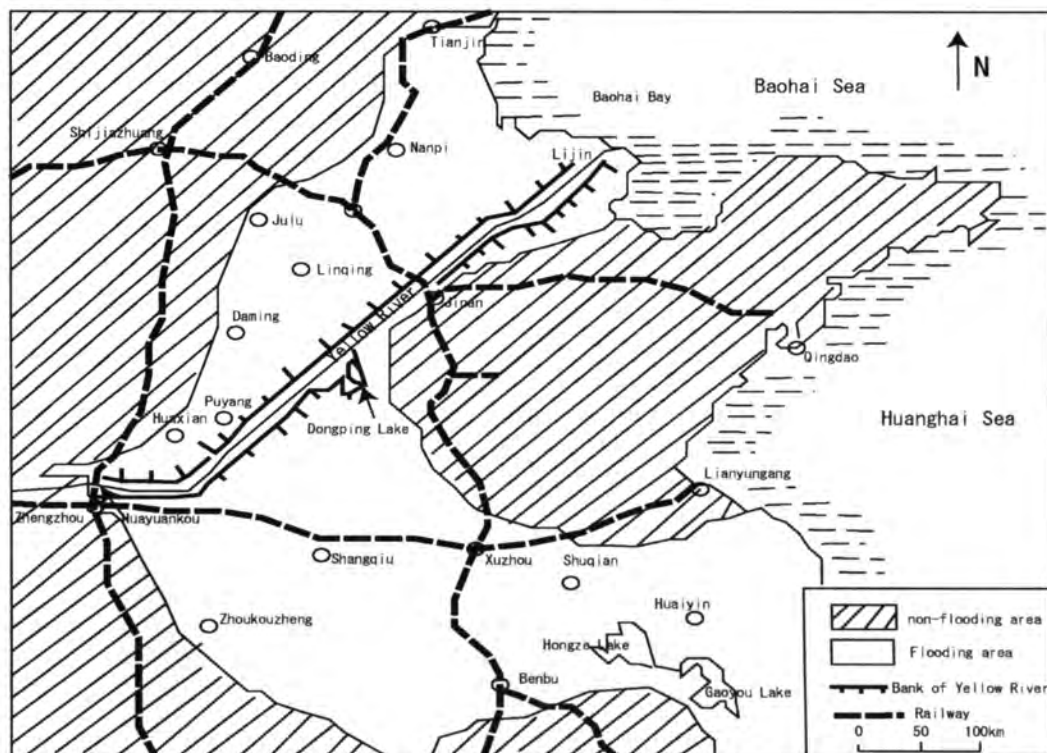


Fig. 8 Impact zone of the Yellow River in the lower reach from the comprehensive view of water use and flooding control, equivalent principally to the flooding area (modified from YRCC, 1984).

Precipitation at Jinan shows four years of heavy rainfall in 1961-1964 (Fig.9), related to the failure of irrigation projects in 1962 as mentioned. No decreasing trend was found for the period of 1980-2000, while on the other hand, pan evaporation decreases in this period. Thus, abrupt increase of water use during the period of 1971-1980 could be explained only by the expansion of irrigation

area. Variation of precipitation and change of water use efficiency could contribute to the fluctuation of water use during the period of 1981-2000. Given water use efficiency β as the ratio of actual evapotranspiration (ETa) in the field scale to water diverted at the gate of the Yellow River, β is about 0.3-0.5 even though it does increase in the last 20 years due to the application of water saving technology. Annual average ETa at Yucheng experimental station is about 927 mm (Chen et al, 2004b), as annual average precipitation is 670 mm, water from the Yellow River for the deficit is estimated to be 257 mm. Annual average water diverted in the sub-reach of Aishan-Luokou (where Yucheng station is located) during the period of 1980-2000 is 547 mm, indicating a β of about $257/547=0.47$.

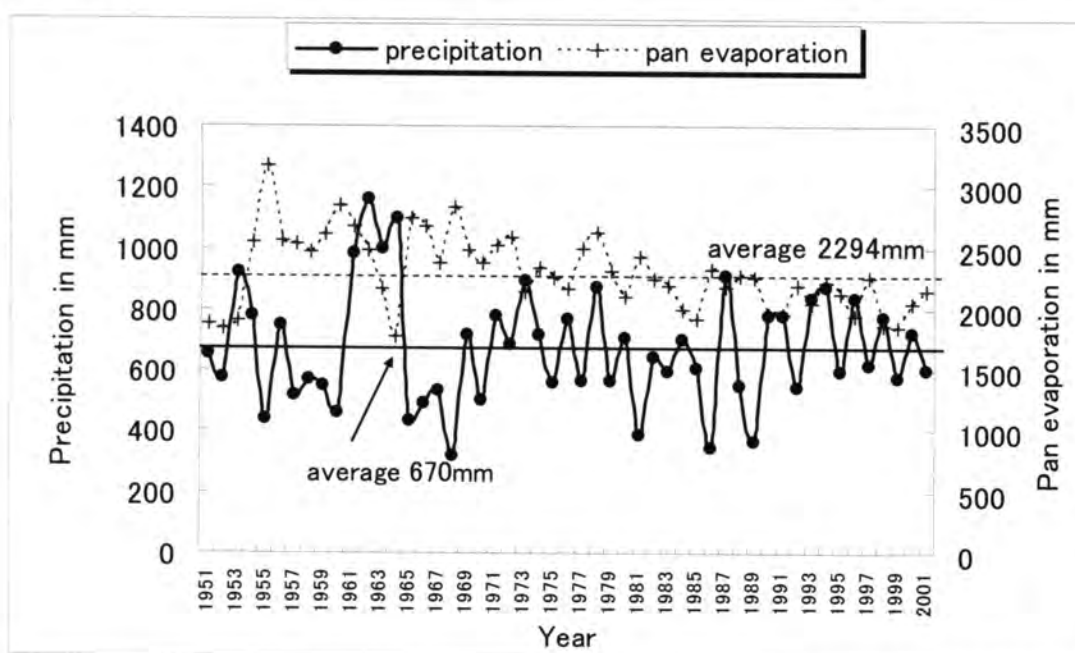


Fig.9 Annual precipitation and pan evaporation (pan diameter: 20 cm) at Jinan during the period of 1951-2001.

Acknowledgement The authors acknowledge the fund from Monbusho of Japan for Human-Nature-Earth Revolution Research Project in “Prediction Mission in Water Cycle Change--Development of Water Resource Prediction Model--Surface Water Research Program in the Yellow River”. This study is also supported by the Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars and the “985 Project” of GIS and remote sensing for geosciences from Ministry of Education of P.R. China.

References

1. CDCID (China Development Center for Irrigation and Drainage) (eds), 2002. *Strategic study on water-saving reconstruction for large irrigation projects in the Yellow River basin*. The Yellow River Conservancy Publishing House, Zhengzhou, pp 82-85.

2. Chen JY, Fukushima Y, Tang CY, Taniguchi M, 2004a. Water environmental problems occurred in the lower reach of the Yellow River, *J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.*, Vol. 17, No.5: 555-564.
3. Chen JY, Tang CY, Sakura S, Kondoh A, Shen YJ and Song XF, 2004b. Measurement and analysis of redistribution of soil moisture and salute in a maize field in the lower reach of the Yellow River, *Hydrological Processes* 18:2263-2273.
4. Liu CM, Chen XG (eds), 2001. *Progress of the study on the evolution of water resource of the Yellow River and mechanism of sustainability of water reuse*, The Yellow River Conservancy Publishing House, Zhengzhou.
5. Ruan BQ, 1997. *Optimization of water resources in the lower reach of the Yellow River*, PhD thesis.
6. Saito Y, Yang ZS, 1994. *The Huanghe River: its water discharge, sediment discharge, and sediment budget*, *J. Sed. Soc. Japan*, No. 40, 7-17.
7. Xi JZ (eds), 1999. *Water resources of the Yellow River*, The Yellow River Conservancy Publishing House, Zhengzhou.
8. YRCC (Yellow River Conservancy Committee) (eds), 2002. *Primary control and development plan of the Yellow River*, The Yellow River Conservancy Publishing House, Zhengzhou.
9. YRCC (Yellow River Conservancy Committee), 1984. *Control and development of the Yellow River*, Shanghai Education Publication House, pp 56.

黄河デルタ班の研究成果のまとめと渤海グループとの成果統合

谷口真人（地球研）

黄河デルタ班では 2003 年の 2 回の予備調査の後、2004 年 9 月（高流量）と 2005 年 5 月（低流量）に渤海班と合同で共同観測を行った。主な目的は、黄河から渤海湾への水・物質負荷量と地下水から渤海への水・物質負荷量を比較し、黄河断流の影響が両者にどのように現れるか、さらに渤海湾の水・物質収支にどのように影響を与えるかを明らかにすることである。現在、地下水流出量の面的評価、陸域起源の地下水淡水成分と再循環水の分離など解析の一部を終了した。その結果は以下のとおりである。

- (1) 黄河断流の影響を 2004 年 9 月（流量大）と 2005 年 5 月（流量少）の比較から行った。9 月（通常）と 5 月（断流を想定）の黄河河川流量は 5 : 1 であるのに対し、シーページメータを用いた地下水流出の面的評価の結果、9 月と 5 月の地下水流出量比は 1.5 : 1 であった。地下水流出成分には陸域起源の淡水成分と海水の再循環水が存在するため、それらを電気伝導度・Cl 濃度を元に分離して淡水成分のみを求めた結果、通常時〔9 月〕の黄河河川水と地下水の渤海への流出比は 15:1 であるのに対し、断流を想定した 5 月の両者の比は 3 : 1 となった。
- (2) 地下水湧出量の大きさは黄河河川流出量に比べて約 3・8% と非常に小さいが、地下水による渤海への物質負荷量は、シリカ及びリンで地下水の濃度が河川水の 10 倍以上であることから、シリカの渤海への負荷量の河川 : 地下水は 100 : 50、リンの河川水 : 地下水の比は 100 : 60 であり、水の流出比率以上に渤海へ影響が大きいと予想される。
- (3) 黄河から渤海へいたる測線上での地下水調査の結果、地下水の流動方向は「黄河からデルタ」・「デルタから渤海湾」であることが明らかになった。また黄河断流のシグナルが地下水の Na/Ca 比に現れている可能性のあること、地下水の流動方向と大きさがデルタの堆積環境と大きくかかわっていることなども明らかになった。
- (4) 黄河の下流域は河川が天井川になっており、河川水が地下水に漏出している。このことは河川を中心にした流域が、下流域では閉じていないことを意味する。流域概念に変わる新しい下流域概念として、河川の影響範囲を特定する impact zone の設定が考えられる。物理的な impact zone を河川流量と周辺地下水のポテンシャル変化との相関により明らかにした結果、黄河から 40 - 50 km 地点においても、1 ヶ月程度のタイムラグを持ちながら、河川水と地下水位に対応関係が見られた。また、水質から黄河 impact zone を検証すると、黄河からの灌漑水の影響が河川周辺に見られることが明らかになった。

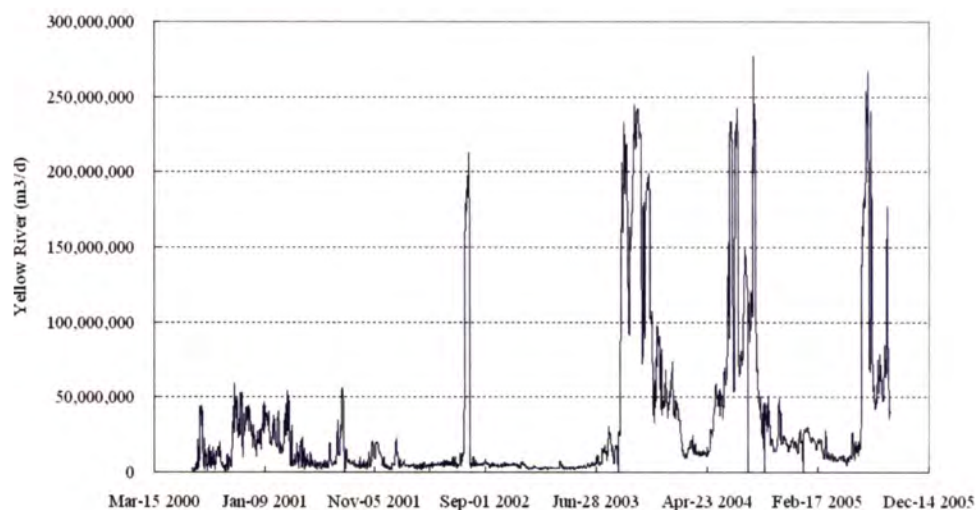


Fig.1 Discharge from Yellow River



地下水流出（全）：70M-200M トン/日
地下水流出〔淡水〕：2M-5M トン/日

Fig. 2 Groundwater discharge from the delta

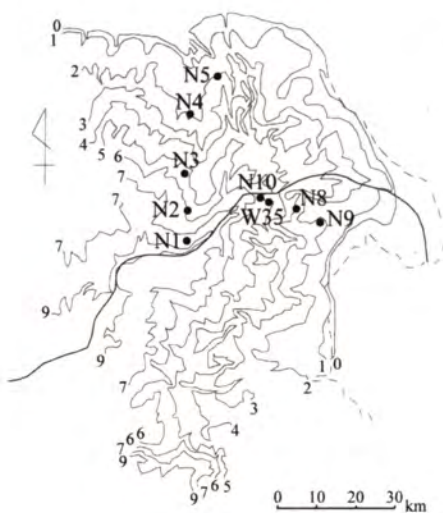


Fig.3 Locations of boreholes

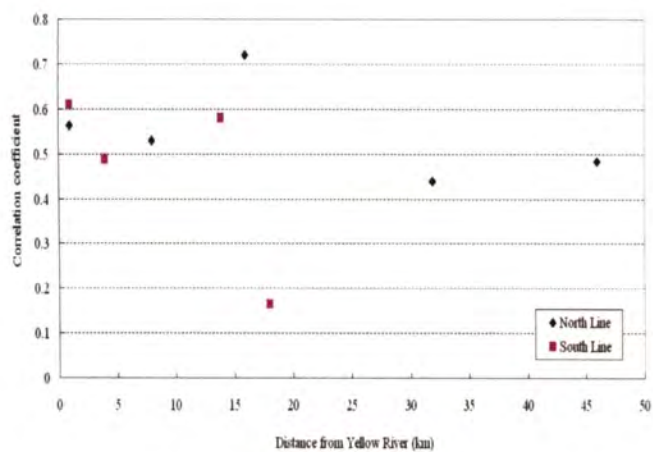


Fig.4 Correlation of river discharge and groundwater level

渤海班の目標とこれまでの研究活動

柳 哲雄（九大・応力研）

渤海班の目標は黄河の流量変動に対する渤海の水温・塩分・流動といった物理環境のみならず、栄養塩・植物プランクトン・動物プランクトン密度のような化学・生物環境の変動特性を明らかにし、渤海湾の環境保全に最適な黄河流量を明らかにすることである。

昨年度までに

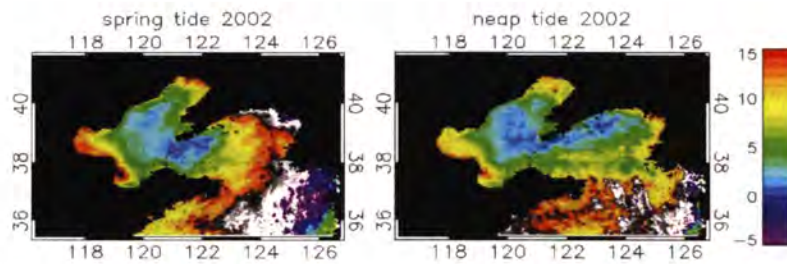
- 1) 渤海における 1982～83、1992～93 年の観測結果を整理して、黄河流量の多かった 1980 年代と少なかった 1990 年代では下表に示すような海洋環境特性の違いがあることを明らかにした。

Conclusion		
	1982	1992
Estuarine circulation	strong	weak
Surface salinity	low	high
Bottom salinity	high	low
Water exchange ratio	high	low
Residence time of water	short	long
DIN	low	high
DIP and DSi	high	low
Chl.a and primary production	high	low
Limiting nutrient	DIN	DIP
Nitrogen fixation-Denitrification	plus	minus

そしてこの結果を以下のような論文にまとめ発表した。

Hayashi,M., T.Yanagi and X.Guo(2004) Difference of nutrients budgets in the Bohai Sea between 1982 and 1992 related to the decrease of the Yellow River discharge. J. Korean Soc. of Oceanogr., 39, 14-19

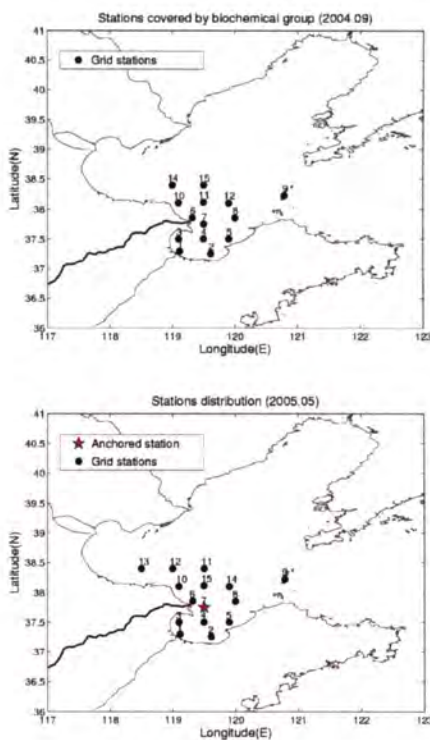
- 2) 黄河から流出した濁水の挙動特性を明らかにするために、2002 年の毎日の NOAA 可視画像を解析した。その結果、下図に示すように、濁水は黄河河口から流出した後、海岸線を左手に見て広がるが、その広がりには小潮時より大潮時により広がるということが明らかになった。



そして、この結果を以下のような論文にまとめ発表した。

Yanagi,T. and T.Hino (2005) Short-term, seasonal, and tidal variations in the Yellow River plume. La mer , 43, 1-7

- 3) 2002 年の毎日の NOAA 赤外画像を解析して、渤海海面水温の季節変動の振幅と位相の水平分布を明らかにした。その結果、渤海は日本の沿岸海域とは異なり、浅い沿岸部より深い海峡部で最高水温が早く出現することが明らかになった。
- 4) 2004 年 9 月と 2005 年 5 月に渤海南西部の下記に示すような点で海洋観測を行った。



- 5) 3 次元数値モデルにより渤海の潮汐・潮流と水温・塩分・流動の季節変動を再現することに成功した。

Suspended Sediment Dispersion Originated from the Yellow River in the Bohai Sea

Guo-Qing Cui, Tetsuo Yanagi
(ESST, Kyushu University) (RIAM, Kyushu University)

1. Introduction

The Bohai Sea is simulated using numerical model. Special attention has been paid to the tidal-induced residual current (Cui and Yanagi, 2004).

The spring-neap tidal variations of the Yellow River plume in the Bohai Sea were investigated using NOAA AVHRR visible band images in 2002(Yanagi and Hino,2005) as shown in Fig.3.

The Yellow River is famous for its sediments load into the Bohai Sea. The average river discharge was $4.1 \times 10^9 \text{ m}^3$ per year and the sediment load per year was 0.54×10^8 tons in 2002(Reprot of river sediment in China, 2002).

This study, we first established a numerical model of tide, tidal current and residual currents in the Bohai Sea. Then, we investigate the sedimentation processes of suspended matter supplied from the Yellow River using a three-dimensional transport model of the Bohai Sea which includes the tidal current, residual currents. The objective of our study is to qualitatively explain the suspended sediment dispersion originated from the Yellow River.

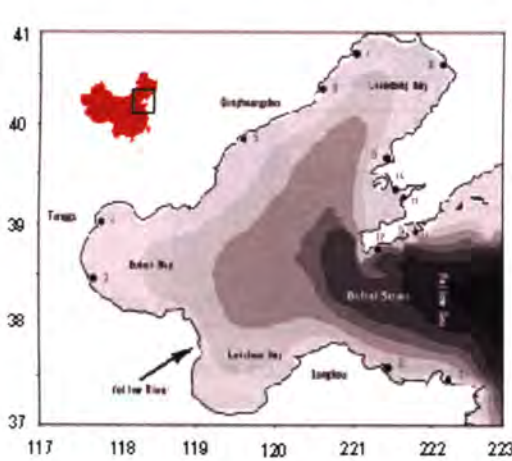


Fig. 1. Bathymetry and the model region of the Bohai Sea.

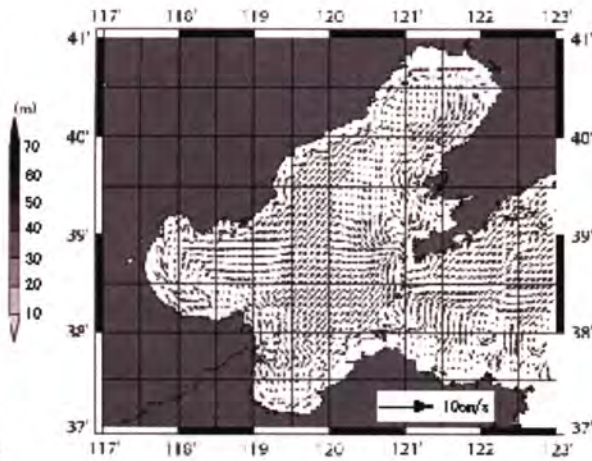


Fig. 2. Residual flows which consists of the Lagrangian tide-induced current and density driven current.

2. Model description We can track the movement of material in a numerical model of the sea using the Euler-Lanrange method (Yanagi and Inoue, 1995) where the movement of a particle is tracked in the Lagrangian sense in the current field, which is calculated in the Eulerian sense.

$$X_{n+1} = X_n + V \Delta t + \frac{1}{2} (\nabla V) V \nabla t^2 + \omega_s \Delta t + R \quad (1)$$

Where V denotes the three-dimensional velocity of tidal current. Δt is the time step. ∇ represents horizontal gradient. ω_s is the sinking velocity of suspended matter by the Stokes law.

When the suspended matter reaches the sea bottom, we judge whether it stops by applying the critical tractive force theory (Tsubaki, 1974),

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{\rho_w}{2} C_t U_b^2 \frac{\pi}{4} r^2 \\ R &= \frac{\pi}{6} r^3 (\rho_p - \rho_w) C_s g \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Where F denotes the tractive force; R , the resistance force; C_d , the drag coefficient of suspended matter; C_s , the static friction coefficient of suspended matter; U_b , the velocity of current just above the seabed.

$F > R$, The sediment matter stops moving and deposits to the position where the sediment matter reaches the sea bottom;

$F < R$, The sediment matter removes from its position.

The configurations of the model are the same as those in the tidal current experiment.

River flow rate: $130\text{m}^3/\text{s}$.

River salinity: 0 psu.

On the size spectrum, the surface sediment size is less than $100\text{ }\mu\text{m}$ in Laizhou Bay. In addition, in the area around the Yellow River mouth, the sediment size is less than $16\text{ }\mu\text{m}$ (W. S. Jianget al. 2005). Thus, we injected different kind of particles (small, middle and large sizes) as shown in table 1.

We conducted two experiments which correspond to spring tide and neap tide. In the first experiment, 200 particles were injected at spring tide and tracked until next spring tide for each particle size. In the second experiment, also 200 particles were injected at neap tide and tracked until next neap tide for each particle size.

Table. 1. Particles used in model

	Small	Middle	Large
Size (μm)	4	15	50
Density(g/cm^3)	2.5	2.5	2.5

3. Result

The residual flows (Lagrangian tide-induced residual current and density driven current at the surface) are shown in Fig. 2.

The results of transport and sedimentation of suspended of particles injected from the Yellow River mouth are shown in Fig. 4.

The results show that most of small sized particles and middle sized particles from the Yellow River transported mainly from Laizhou Bay to Bohai Bay with the coast on the left hand side, but most of the large sized particles deposited within one-day and they do not move again.

Furthermore, the spreading area during sprint tide is wider than during neap tide due to the re-suspension by the strong tidal current. This is in agreement with the results from satellite images as shown in Fig. 3.

The results of transport experiment qualitatively explain the spreading pattern of the suspended matter.

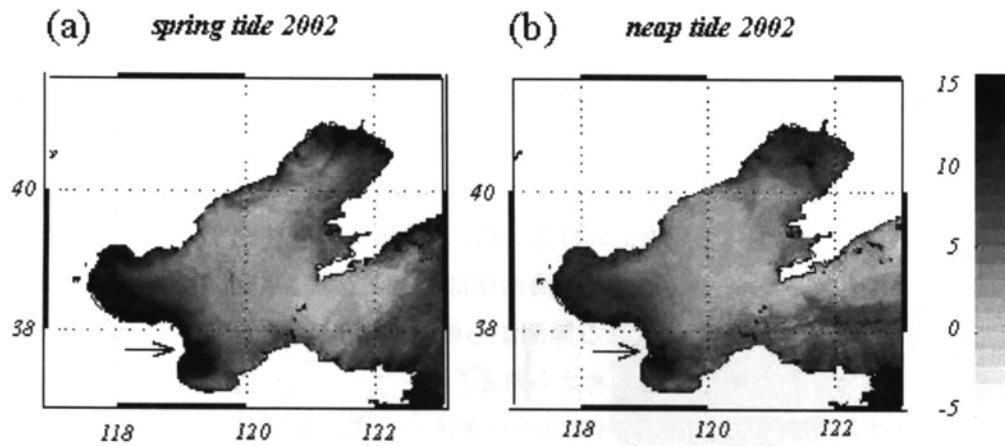


Fig. 3. The Yellow river plume spreading in spring tide (a), neap tide (b) in 2002 (Hino and Yanagi, 2004)

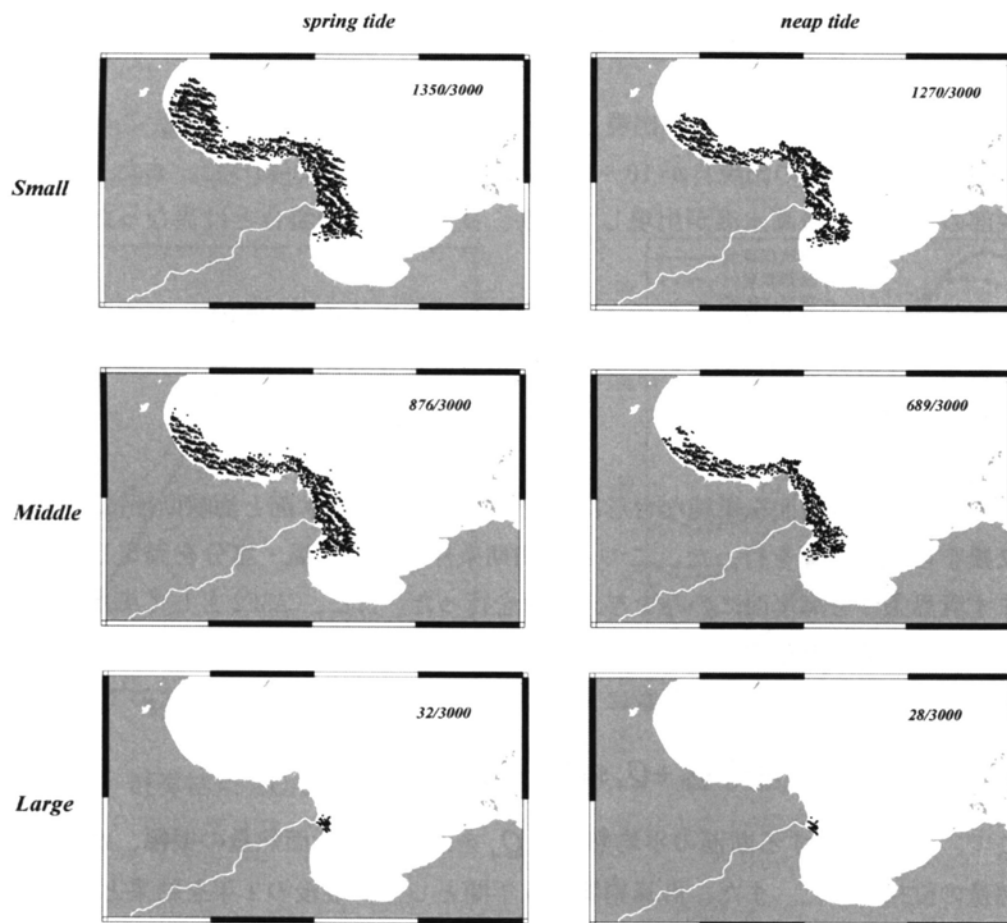


Fig. 4. Result of the calculation. Number shows the total number of moving particles and total number of particles injected from Yellow River mouth.

渤海における SST の季節変動に関する研究

迫田 祥哉（九大・総理工）・柳 哲雄（九大・応力研）

1. はじめに

これまで衛星データによって渤海における SST の季節変動を確認する事ができた。最高水温の出現日に関して、渤海海峡部分と渤海沿岸部では、渤海海峡部の方が約 10 日ほど早くなっていた。これは黄海南部を流れる黒潮からの水平熱輸送が、渤海の水温季節変動に大きな影響を与えているためであると考えられる。

そこで本研究では SST の最高水温出現日のラグについて、数値モデルを使用し水平熱輸送が渤海の水温季節変動に与える影響を定量的に調べることにした。

2. 使用データ

本研究では、SST のデータに関して、財団法人 環日本海環境協力センターにより提供された、気象観測衛星 NOAA の AVHRR センサーを使用した。データは 2002 年 1 月 30 日から 2002 年 12 月 31 日までのものをを用いて解析を行った。

3. 解析

各観測点における最高水温の出現した日を表した図を描いた（図 2）。この図より沿岸部と海峡部の最高水温の出現日が 10～15 日程度のタイムラグがあった。また、沿岸部よりも海峡部の方が先に最高水温が出現しており、日本海沿岸の場合とは異なった傾向が見られた。

これより渤海は水平方向の熱輸送（黒潮から流れてくる熱の輸送）が海面から流入する熱の輸送よりも大きいことこのようなことが起きたと考え実際に数値実験を行い渤海と同様の傾向を示すのかを調べた。

4. 数値実験

まず、渤海の水表面を単純な台形に仮定し簡単な箱に海水面と海峡断面に 1 年周期の熱の交換を再現し計算を行った。このとき初期条件として水温・塩分を固定し、CASE 1 としてまず境界条件を海水面にのみを与え計算を行った。また、CASE2 として海水面と海峡断面において境界条件を与えた。

境界条件は 1 年周期の正弦関数によってそれぞれ以下のような式によって与えた。

$$Q = Q_0 + Q_A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \theta\right)$$

ここで、 Q_0 を通過する断面の平均熱量、 Q_A を通過する断面熱量の振幅、 θ を通過する断面熱量の位相とした。また、計算期間を 5 年間として、最後の 1 年を結果として用いた。

5. 結果

まず、CASE 1 の計算結果を表した（図 3 (1)）。図を見てみると沿岸部の最高水温の出現

日が海峡部よりも早く出現しており、日本海沿岸と同様に沿岸部の方が海峡部よりも早く最高水温に達したことが確認できた。

次に CASE 2 の計算結果を示す（図 3（2））。実際の衛星データと比較してみると沿岸部よりも海峡部の方が最高水温が先に出現していた。このとき、海水面から流入する熱の振幅と海峡断面から流入する熱量の振幅を比較すると、1：4 となった。

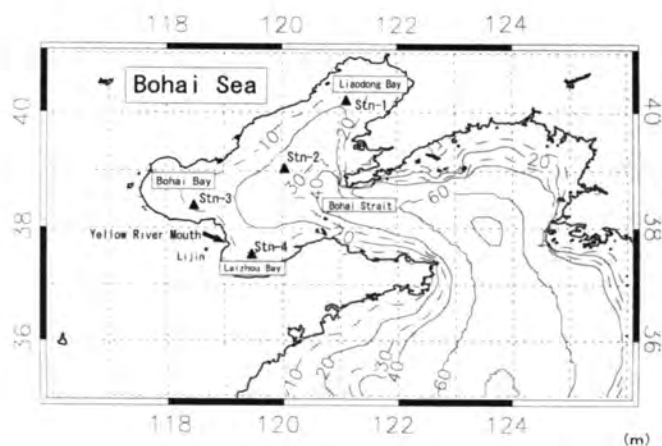


図 1 渤海の概要
（数字は〈m〉で表した水深）

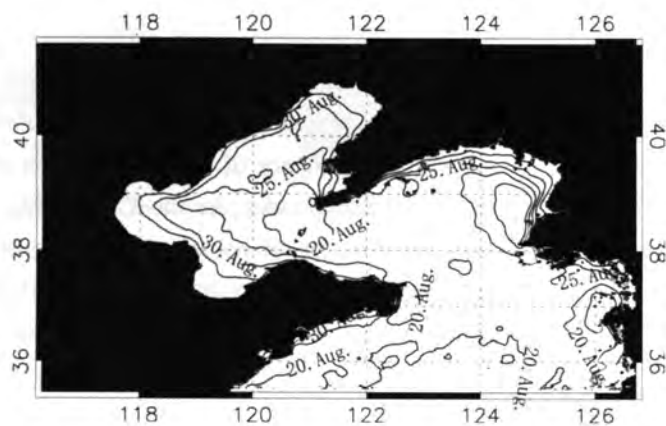


図 2 SST 最高水温の出現日

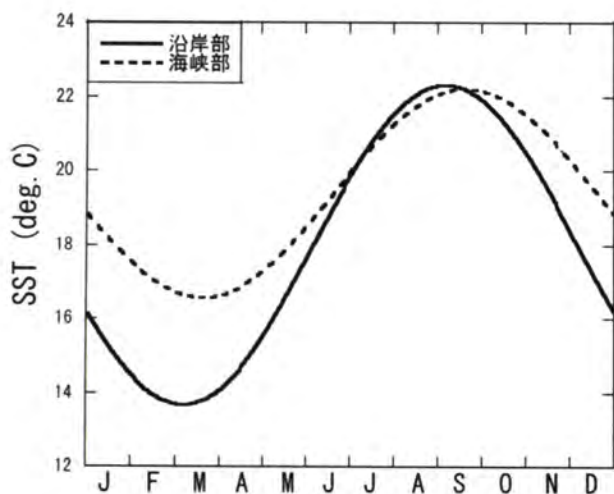


図 3（1） 計算結果（CASE1）

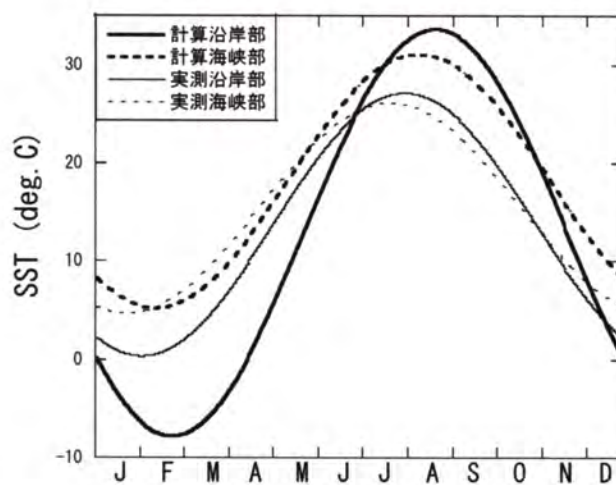


図 3（2） 計算結果（CASE2）

Numerical Study on water exchange between the Bohai Sea and the Yellow Sea

Qiang Wang and Xinyu Guo
(CMES, Ehime Univ., Japan)

The Bohai Sea (BS) is the largest inner sea of China, with the average depth of 18 m and total area of 77,000 km² (Fig.1). The Yellow River discharges into south part of the BS. The Bohai Strait is the only passage to the Yellow Sea (YS) and the water exchange between the BS and the YS is thought to be weak. Here in this paper the water exchange between the BS and the YS is simulated using POM (Princeton Ocean Model). The model has a resolution of 1/18 degree in latitude and longitude and 20 layers in vertical (Fig.2). The major difference between our simulation and previous numerical studies is the treatment of the Yellow River and the open boundary conditions. In this paper the Yellow River is directly considered in the model, so we can analyze the influence of the Yellow River discharge on the current field in the BS. Furthermore, the model domain includes the YS and the East China Sea (ECS) so that the open boundary is far from the BS. On the open boundary, the results of a nested ocean model (Guo *et al.*, 2003) are employed as the open boundary conditions. By this way, we can reduce the artificial error resulting from the given open boundary conditions in a regional model, and the model is fit to deal with the problem of water exchange between the BS and the YS.

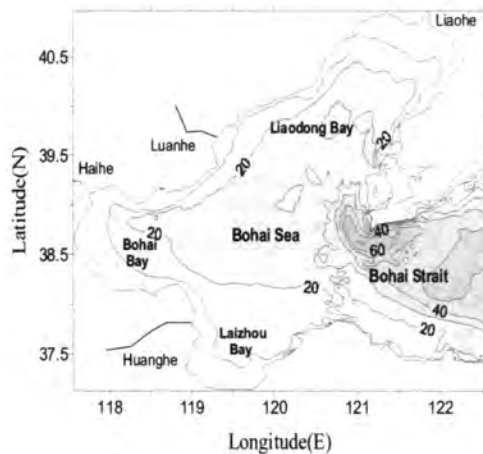


Fig.1 topography of the Bohai Sea

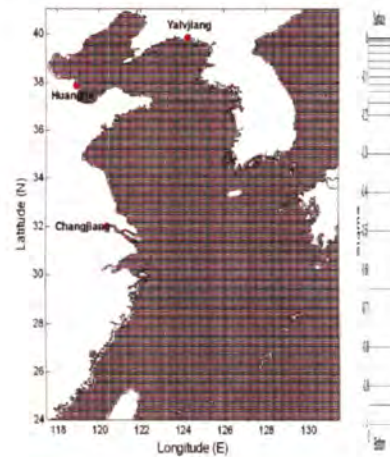


Fig.2 Domain area and model grid

The model is initialized with the nested ocean model's results and forced by 4 major tidal constituents (M2, S2, K1 and O1), monthly averaged ERS wind stress (1991-1998), monthly Levitus SST (1994), monthly net heatflux, evaporation and precipitation (Da Silva, 1994), and monthly NCEP air pressure (1948-2004). Six major rivers, including the Yellow River, the Changjiang River and the Yalu River, are considered in the model. The model was run for 2 years and the results from second year's run were analyzed.

The model succeeds to simulate the distribution and seasonal variation of water temperature, salinity and current field in the BS. Especially for the Yellow River plume, there is good agreement between the simulation result and observation (Fig.3). We can see that in summer Yellow River plume flows northeastward, in winter the fresh water located in the southeast corner of the Laizhou Bay, and in spring and autumn the fresh water located in the southwest corner of the Laizhou Bay.

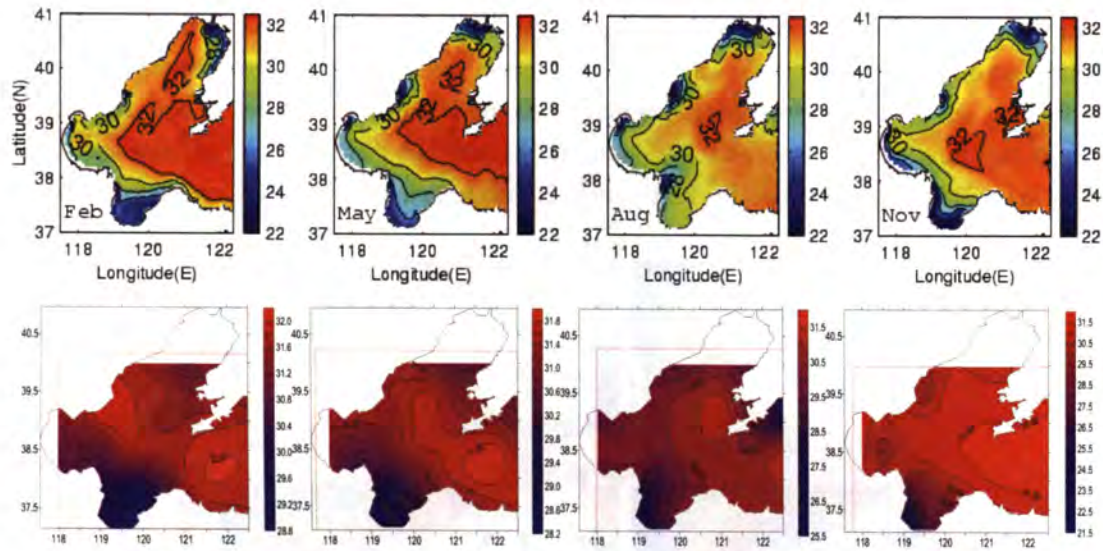


Fig.3 Seasonal distribution of salinity simulated (upper panel) and observed (lower layer)

Model result shows that the monsoonal wind makes current flow into the BS in the first half year, and flow out in the second half year (Fig.4); the peak water flux could be $4000 \text{ m}^3/\text{s}$. As a result, sea level in the BS is high in summer and low in winter (Fig.5). Accompanying with thermal expansion effect, sea level in the BS has a seasonal variation of about 50 cm.

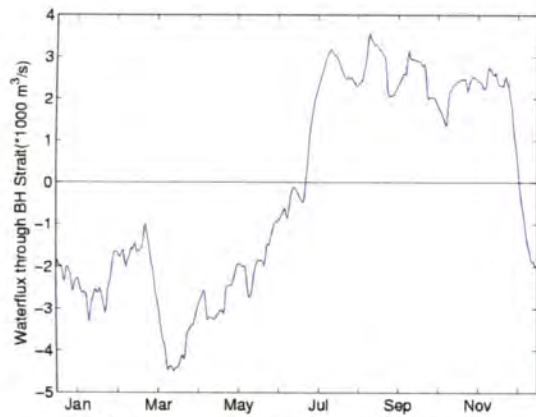


Fig.4 Net water flux through the Bohai Strait.

Positive means flowing out of the BS.

Negative means flowing into the BS.

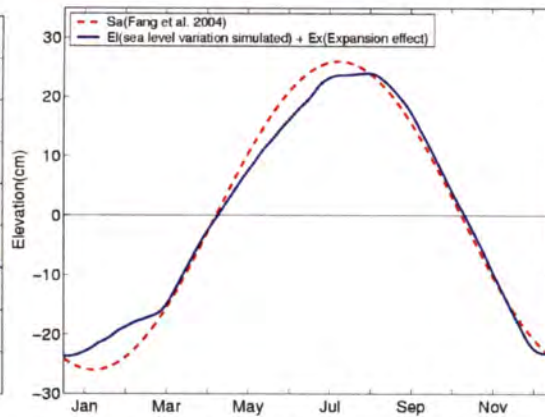


Fig.5 Variation of average sea level in the BS during a year.

Blue line is the model result plus expansion effect.

Red line is the observation result from T/P data.

Current through the Bohai Strait, in most time of the year, is “north-in and south-out” (Fig.6). However, in spring, there is also outflow in the lower layers in south part of the strait.

Several case studies were conducted to study the tidal residual current, wind-driven current and density-induced current through the Bohai Strait (Fig.7). The result shows that tidal residual current induces a “north-in and south-out” flow pattern through the strait. The inflow is strong and located in a small area of north part of the strait; the outflow is weak and located in the large other area.

Wind-driven current shows different flow pattern in winter and summer. In winter, northwest wind prevails on the BS, as a result, wind-driven current flows into the BS through north part of the strait and flows out through south part of the strait; in summer, southeast wind prevails on the BS, as a result, current flows into the BS through south part of the strait and flows out through north part of the strait.

Density-induced current is strong in summer and weak in winter. In summer, the density-induced current flows into the BS through north part of the strait and flows out through south part of the strait. However, we also noticed that in the south part of the strait the flow pattern is flowing out in the upper layers and flowing into the BS in lower layers. In both summer and winter this flow pattern maintains. According to the seasonal distribution of salinity and current field in the BS, we can say that this flow pattern is mainly induced by the Yellow River plume.

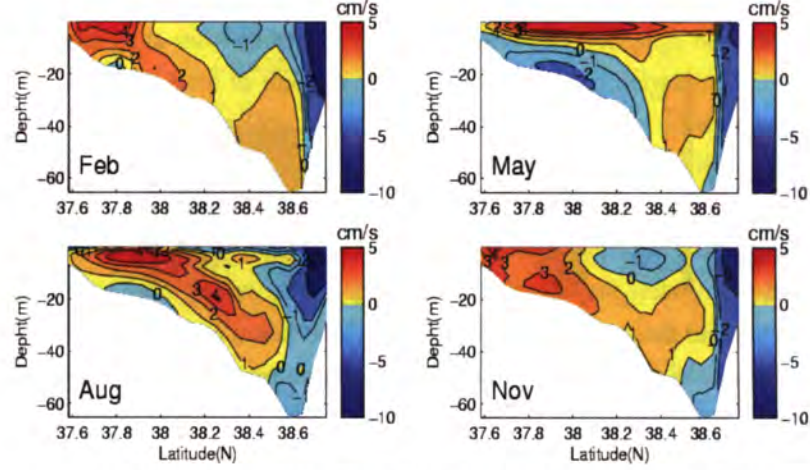


Fig.6 Seasonal current through the Bohai Strait. Positive means flowing out of the BS and negative means flowing into the BS.

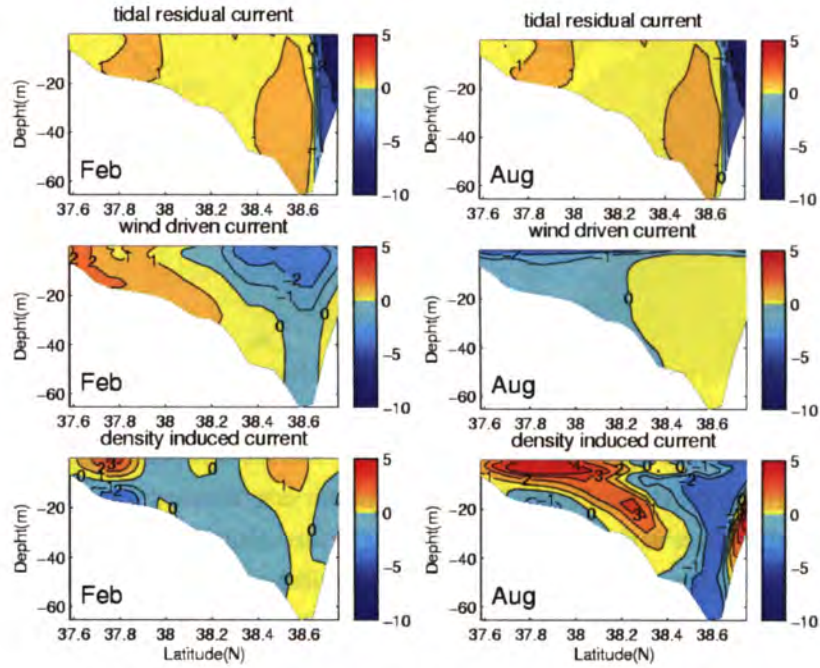


Fig.7 Tidal residual current, wind-driven current and density-induced current through the Bohai Strait in winter (Feb) and summer (Aug)

渤海現地観測結果による海洋環境要素の季節変動特性

郭 新宇¹・柳 哲雄²・林 美鶴³・王 強¹・高 会旺⁴・江 文勝⁴・米 鉄柱⁴

¹愛媛大学 ²九州大学 ³神戸大学 ⁴中国海洋大学

海班は2004年9月(秋季)と2005年5月(春季)に2回の現地観測を行い、黄河口周辺海域の物理と生物環境要素の把握を図った(図1)。物理要素は、水温、塩分、PAR(光合成有効放射光量)、懸濁粒子濃度(SPM)、潮流、海上風などを、生物環境要素は、栄養塩類(NO₃、NO₂、NH₄、PO₄、SiO₃)、溶存態窒素総量(DTN)、窒素総量(TN)、溶存態リン総量(DTP)、総リン量(TP)、Chl. a、粒子態炭素量(POC)、粒子態窒素量(PON)などを含む。

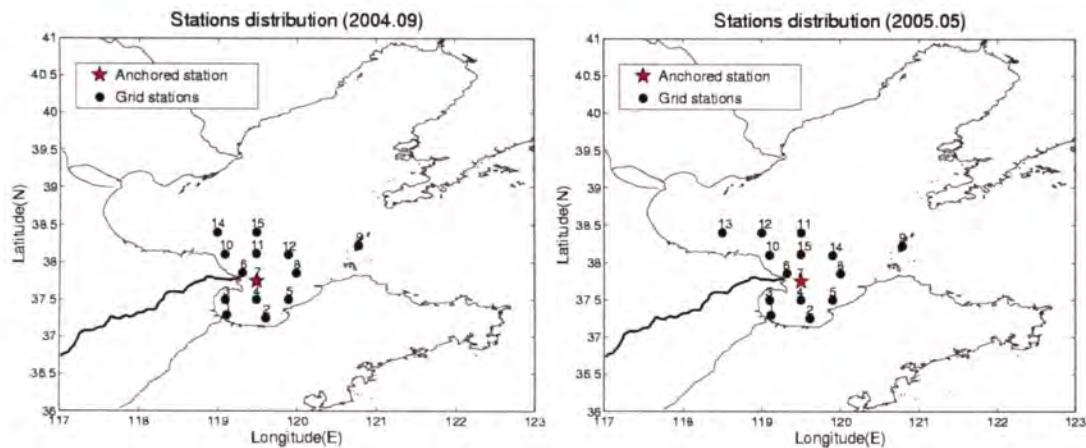


図1. 2004年(左)と2005年(右)の観測場所

観測結果から1)低塩分水の分布は予想と違って、黄河口近傍よりむしろ河口域の南方海域の塩分が低くなっている。また、全体的に春季の塩分は秋季より高い(図2)。2)PARデータから得られた補償深度は春季が秋季より1.5~2.0倍深くなっている。また、補償深度Z₀と懸濁粒子濃度SPMの間に高い相関が示されて、両者の関係を $Z_0 = 18.8e^{-0.0343APM}$ で表現できる。3)懸濁粒子濃度は春季が秋季より2倍ほど少なくなっている。以上のことは春季の黄河流量が秋季より少ないことで説明できる。黄河流量の減少は、海域における塩分の上昇とSPMの減少につながるからである。4)硝酸類の栄養塩は春季に高く、秋季に少ない(図3)。リン酸塩も同じ傾向を示している。しかし、珪酸塩の方は春季の方が秋季より少なくなっていて、約半分程度である。5)Chl. aは大きな季節変動を示している。春季の平均値は秋季の1/3まで落ちている(図4)。6)POCとPONは大きな季節変動を示していない。また、両者の比はある程度の水平分布を持つが、値は大体6前後となっている。7)POCとChl. aの比(図5)はどの季節にも50より大きくなっていることから、植物プランクトン以外の有機物はPOCに大きな割合を占めていると言える。また、POCとPONの比から、これらの有機物は基礎生産に起源する者が多いとも言える。特に、春季の観測データは光合成に有利な光と栄養塩の分布を示しているのに、Chl. aが低い値を示していることから、5月の観測は春季ブルームが過ぎた後に行った可能性が高いと言える。

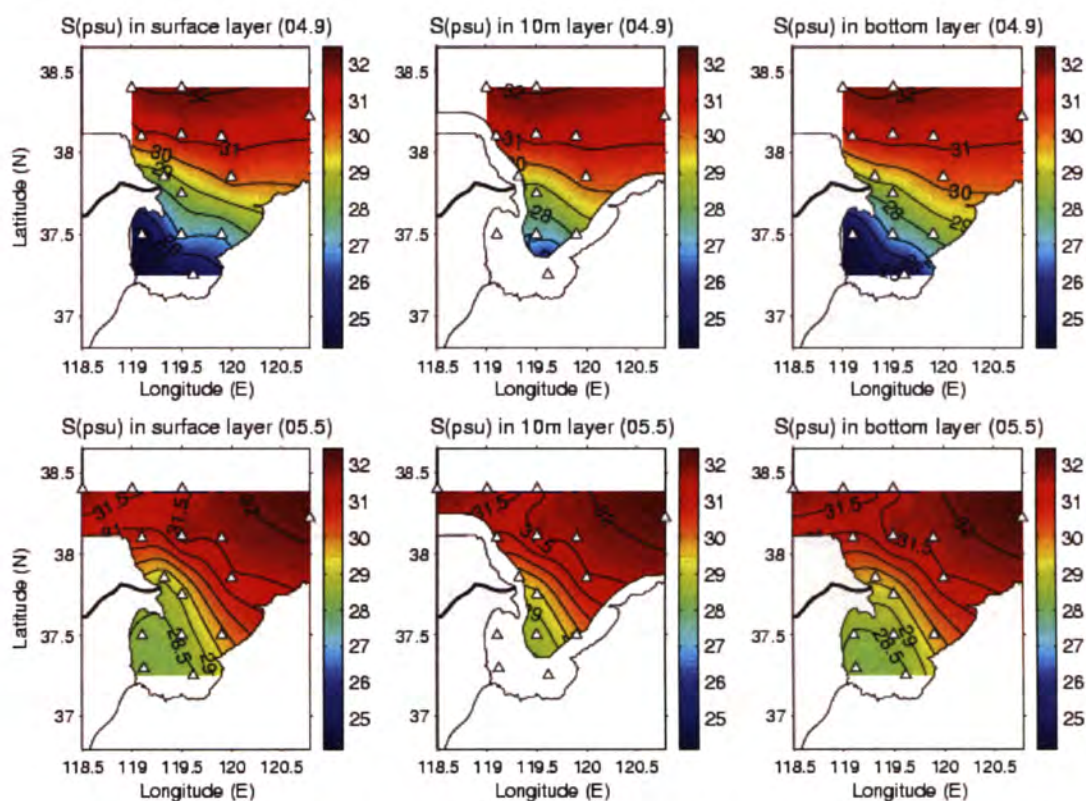


図 2. 2004 年 9 月と 2005 年 5 月に観測された表層、10m 深と底層における塩分分布

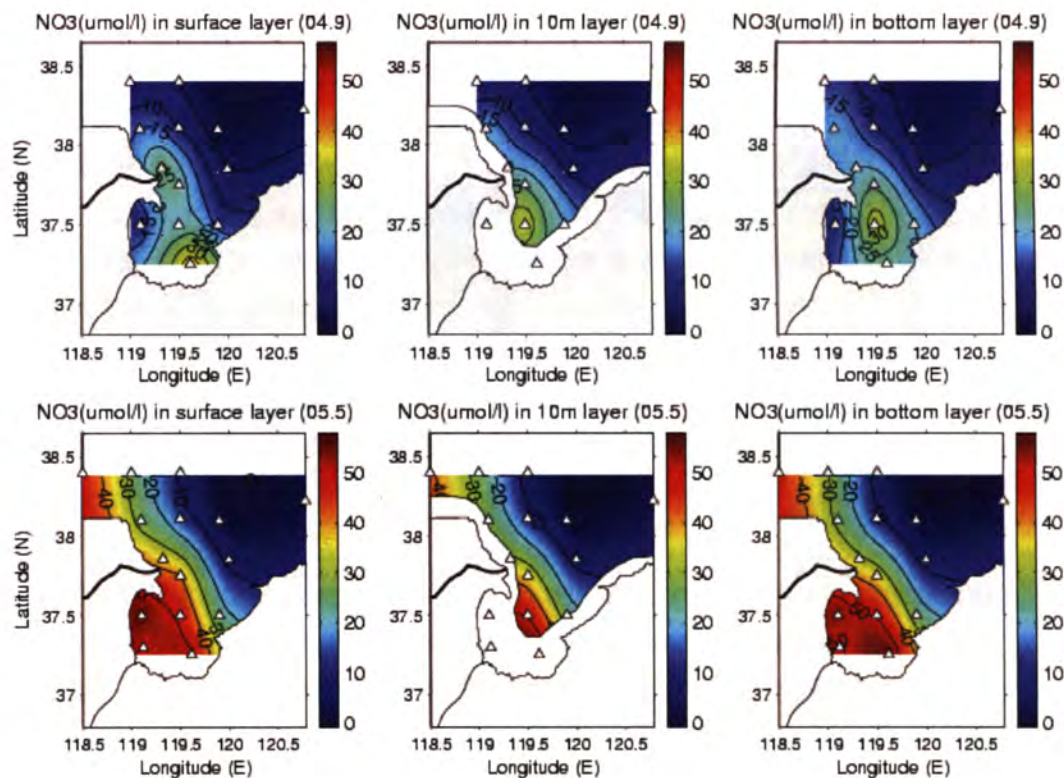


図 3. 2004 年 9 月と 2005 年 5 月に観測された表層、10m 深と底層における硝酸塩濃度

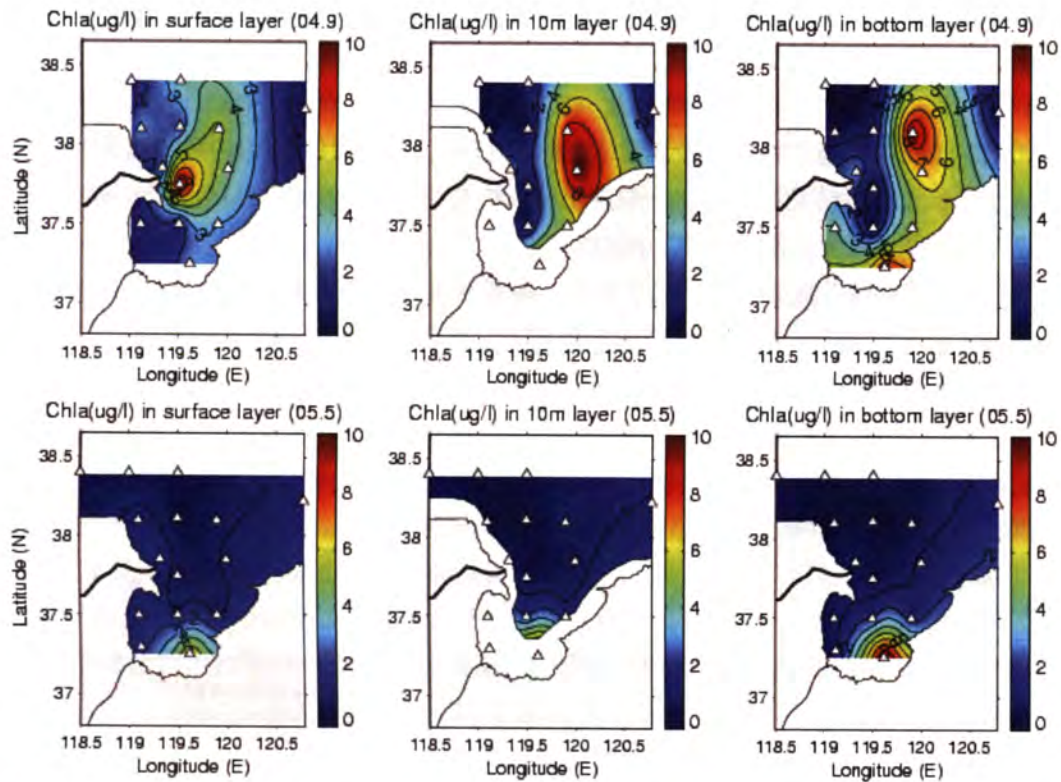


図4. 2004年9月と2005年5月に観測された表層、10m深と底層における Chl.a

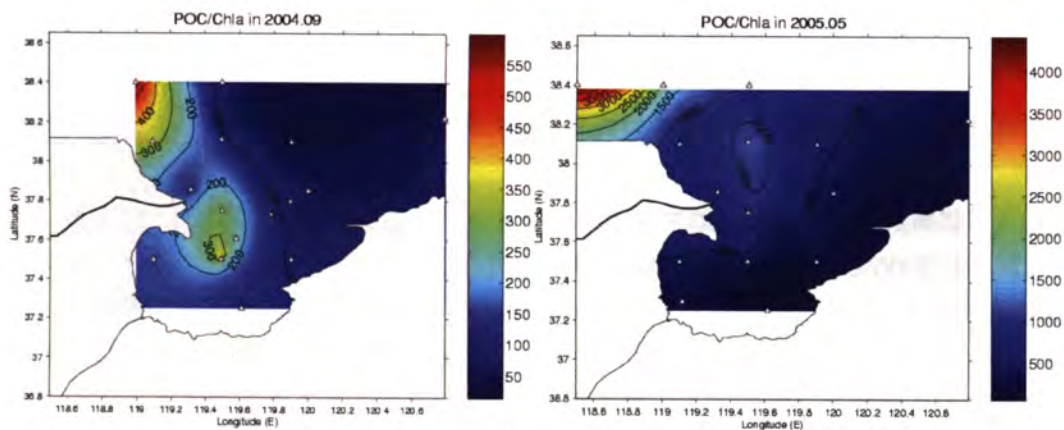


図5. 2004年9月と2005年5月に観測された表層、10m深と底層における POC と Chl.a の比

これから黄河と地下水からの栄養塩フラックスデータと比較しながら、2回の観測から見られた栄養塩濃度の違いと起源を考察したいと考えている。また、観測された物理と生物環境要素の空間分布を数値モデルで説明し、黄河流量の変動による渤海生態系への影響を総括的に研究する予定である。

黄河流量と渤海海洋環境の経年変動

林 美鶴（神戸大学）、柳 哲雄（九州大学）、郭 新宇（愛媛大学）

1. 目的

これまでに、渤海で実施された過去 2 回(1982-1983 年、1992-1993 年)の観測結果⁽¹⁾から、黄河の流量が大きく異なる両時期の水収支と栄養塩収支の変化について報告した。その結果、

- ・ 河口循環流が弱くなり、海水交換が減少
- ・ 窒素濃度は上昇、リンと珪素濃度は下降し、基礎生産の律速栄養塩が窒素からリンに変化したことが明らかとなった。前者は物理的な環境で、黄河の流量減少が直接影響していると考えられる。しかし、後者の様な生化学環境の変化と黄河の流量減少を明確に関連づけるには至っていない。

そこで、2004 年 9 月と 2005 年 5 月に実施した観測結果、さらに様々な文献値を加えて、黄河流量と渤海の生化学環境の経年変動から、両者の関連を検討する。

2. 使用データ

使用したデータが観測された時期や解析範囲は以下の通りで、対象海域は図 1 の通りである。尚、図 1 は 1982 年 8 月の表層の塩分分布を示しており、黄河から低塩分が広がっている範囲を黄河河口とした。

- ・ 82-83 と 92-93 の各季節に渤海全体で観測されたデータで⁽¹⁾、このうち黄河河口を年平均した。
- ・ 59-60 と 98-99 の渤海全体の年平均値⁽²⁾。
- ・ 86, 90, 91, 94-97 について、菜州湾での観測結果の年平均値⁽³⁾。
- ・ 2000 年 8 月に黄河河口で観測された結果⁽⁴⁾。
- ・ 2004 年 9 月と 2005 年 5 月に、黄河河口で実施した観測結果を平均した。

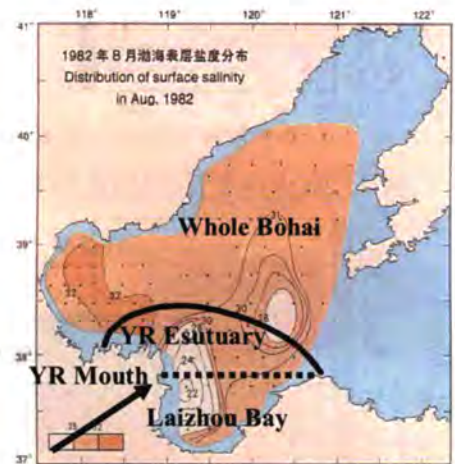


図 1 解析対象海域

3. 結果

黄河流量の経年変動を図 2 に示す。1980 年代後半から急激に流量が低下している。図 3 に、渤海の Chl.a 濃度(a)、溶存無機態窒素(DIN)濃度(b)、溶存無機態リン(DIP)濃度(c)及び溶存無機態ケイ素(DSi)濃度(d)の経年変動を示す。データが取得された観測海域が異なるため、ここでは渤海全体、黄河河口及び菜州湾で表記を変えて年平均値を示している。Chl.a 濃度は、2000 年代になり高度濃度になった。DIN 濃度は観測海域によって差があるが、全体的に上昇する傾向にある。これに対し DIP 濃度と DSi 濃度は、1900 年代以降低下する傾向にあり、この傾向は黄河流量の減少とよく一致する。また、図 4 は DIN/DIP 比(a)、DIN/DSi 比(b)及び DSi/DIP 比(c)で、DIN 濃度上昇の結果、渤海の DIN/DIP と DIN/DSi は上昇し、レッドフィールド比を越えた。これは、渤海に基礎生産が窒素制限からリン或いはケイ素制限に変化したことを意味している。DSi/DIP は若干低下傾向だが、レッドフィールド比を上回っていることから、基礎生産の律速栄養塩はリ

ンであると言える。またこの低下は、渤海での濃度低下がリンよりもケイ素の方が急激であることを示している。

4. 考察

まず、基礎生産の律速栄養塩がリンになり、DIP 濃度が低下したにも関わらず Chl.a 濃度が上昇していることは、一件矛盾しているように思える。これについては、そもそも栄養塩よりも光環境による制限の方が強い可能性がある。無機粒子は光を散乱させるため、これが多いと底層まで光が通りやすいが、有機粒子は光を吸収するため光は底層に届きにくくなる。この様に、渤海の粒子の種類と光学特性を明らかにすることが、低次生物生産の構造を明らかにする上で重要である。

次に、黄河での DIN・DIP 濃度、及びこれらに黄河流量をかけた DIN・DIP 負荷量の経年変動と、渤海の栄養塩濃度の経年変動との関係について考察する。図 5 に DIN 濃度と負荷量(a)及び DIP 濃度と負荷量(b)を示す。DSi については 2005 年のデータしかないので示さなかった。黄河の DIN 濃度は上昇傾向にある。一方、DIP 濃度は明確な経年変動はないが、2005 年は低下している。これらを負荷量で見ると、黄河流量が低下しているため DIN、DIP とも減少している。このことから、リンについては主に黄河流量低下に伴って渤海へのリン供給量が低下し、これが渤海の DIP 濃度低下に寄与している事が示唆される。またケイ素も、河川経由の負荷が大きいと考えられ、リン同様に負荷量が減少していると予想できる。さらに、リンは人為的な発生と負荷があることから、黄河流量減少による負荷量の減少はリンよりもケイ素の方が影響を受けやすく、この結果、渤海での濃度低下がリンよりもケイ素の方が急激になったと考えられる。一方で、地下水班の報告では地下水からのケイ素供給量は無視できないとのことであり、地下水からの物質負荷量を定量化する必要がある。海域でのケイ素濃度低下は、ケイ素を利用せずに増殖可能な渦鞭毛藻類の優占につながる。この種には、いわゆる有害プランクトンと呼ばれる種が含まれており、人間にとっては好ましくない環境と言えることから、黄河流量減少が引き起こす環境問題の一つとなり得る。

一方、窒素は、渤海での DIN 濃度上昇を黄河との関係で説明することは出来ない。どこからどのように窒素が負荷されているのかを明らかにすることが渤海の環境を考え上で重要であり、窒素供給源の一つとして渤海沿岸の養殖池からの直接負荷が考えられる。調査の結果、渤海湾では以前は大正エビの養殖が盛んだったが、現在はトラフグと車エビの混養殖を行っており、キビナゴやイカナゴなどの生餌が投与されていた⁽⁶⁾。この様な情報から渤海への窒素の直接負荷量を推定する必要がある。

5. まとめ

以上の通り、渤海の栄養塩環境の経年変動が黄河流量の変化に影響を受けていることが明らかとなった。また、地下水からの水・物質負荷量の定量化、渤海の光環境と基礎生産の関係解明などが、渤海の環境変動を明らかにするために重要であることが示された。

引用文献

- (1) Tang, Q. and Meng T. (1997)
- (2) S. M. Liu, J. Zhang, H. W. Gao and Z. Liu : 私信

(3) Z. Shan, Z. Zheng, H. Xing, X. Liu, X. Liu, Y. Liu : Study on Eutrophication in Laizhou Bay of Bhai, *Transaction of Oceanology and Limnology*, 2, 41-46, 2000.

(4) H. Gao, D. Wu, J. Bai, J. Shi, Z. Li, W. Jiang : Distributions of Enviromental Parameters in Laizhou Bay in Summer, 2000, *J. Ocean University of Qingdao*, 33, 2, 185-191, 2003.

(5) 中山一郎氏(中央水産研究所)：私信

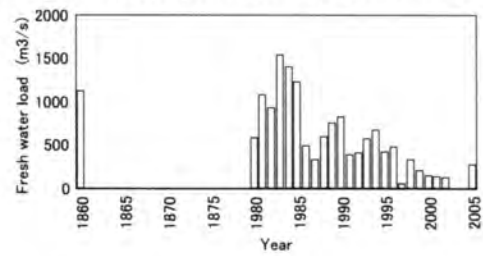
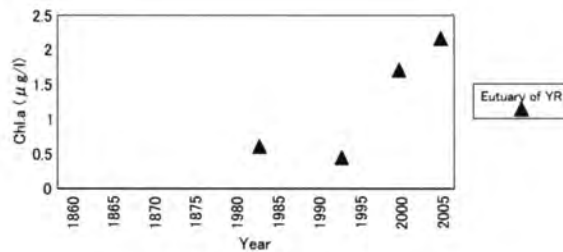
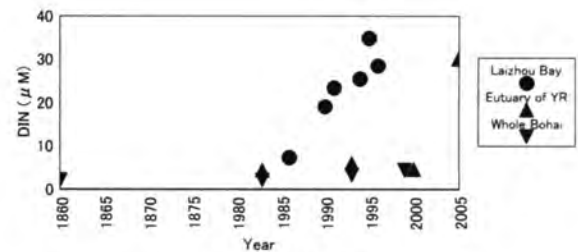


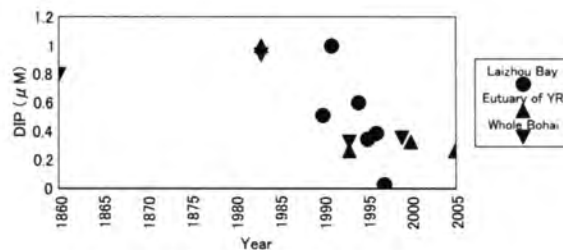
図2 黄河流量の経年変動



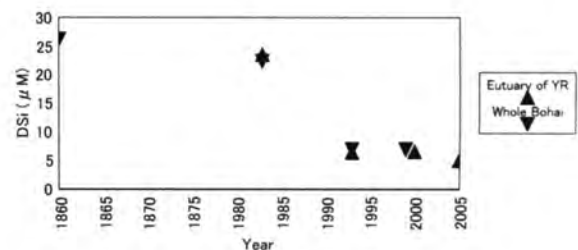
(a) Chl.a 濃度



(b) DIN 濃度

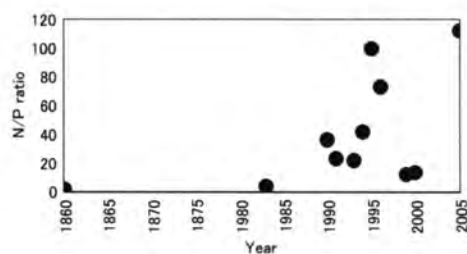


(c) DIP 濃度

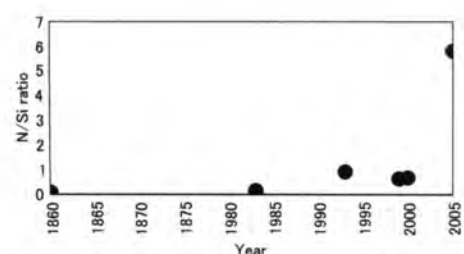


(d) DSil 濃度

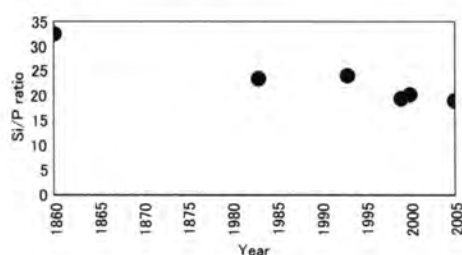
図3 渤海における Chl.a・栄養塩濃度の経年変動



(a) DIN/DIP



(b) DIN/DSil



(c) DSil/DIP

図4 渤海湾における元素比の経年変動

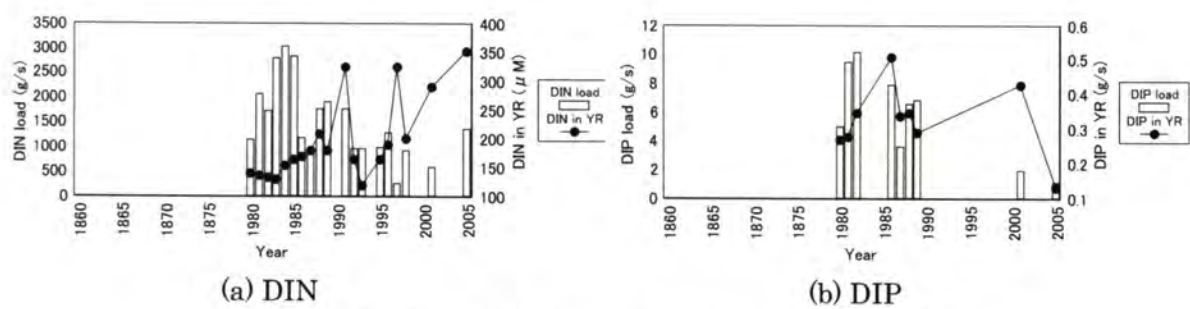


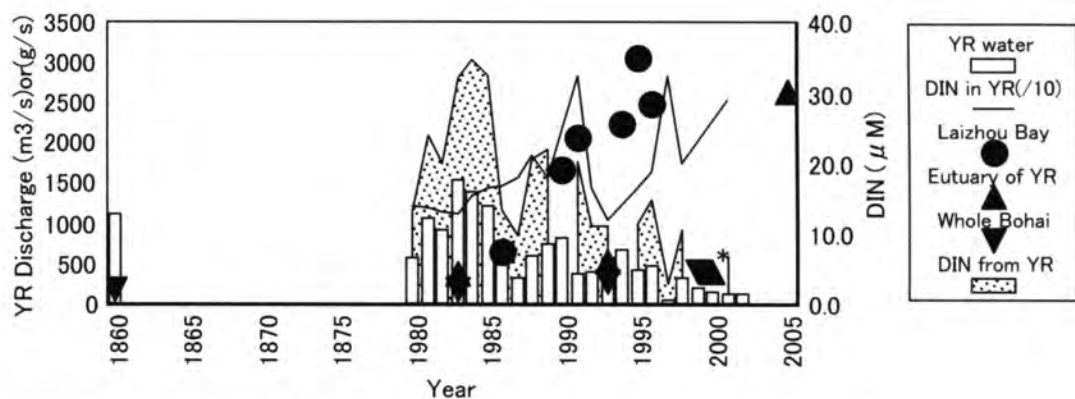
図 5 黄河河川水中の栄養塩濃度と渤海への負荷量の経年変動

本年度までに得られた成果のまとめ

柳 哲雄（九大・応力研）

渤海班の本年度に得られた主な研究成果は以下のようである。

- 1) 渤海における 1960、1982～83、1992～93、2003～04 年の観測結果を整理して、黄河流量やリン・珪素・窒素負荷量の変動に対応して、渤海の海洋環境がどのように変動しているかを調べた。

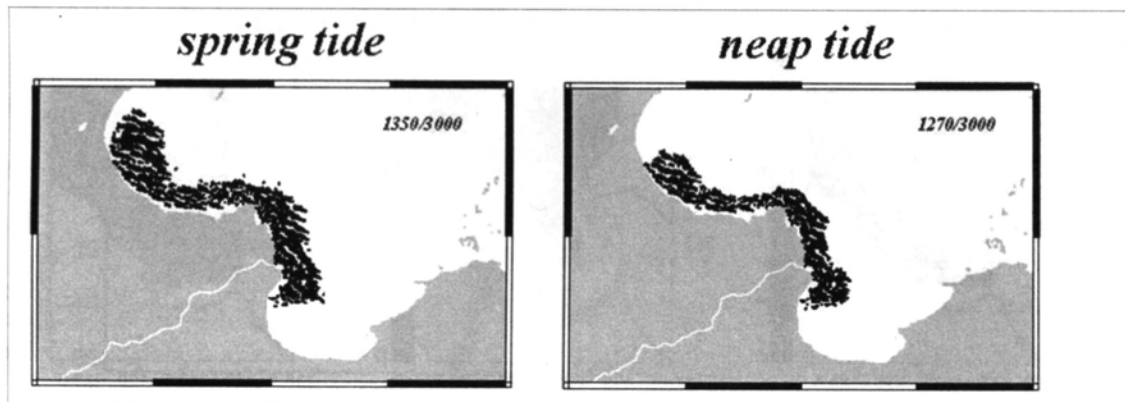


黄河流量、窒素濃度、窒素フラックス、渤海窒素濃度の経年変動

その結果、黄河からのリン・珪素負荷量は近年減少し、渤海内の濃度も減少しているが、黄河を通じての窒素負荷は減少しているにも関わらず、渤海内の濃度は近年増加していることが明らかになった。

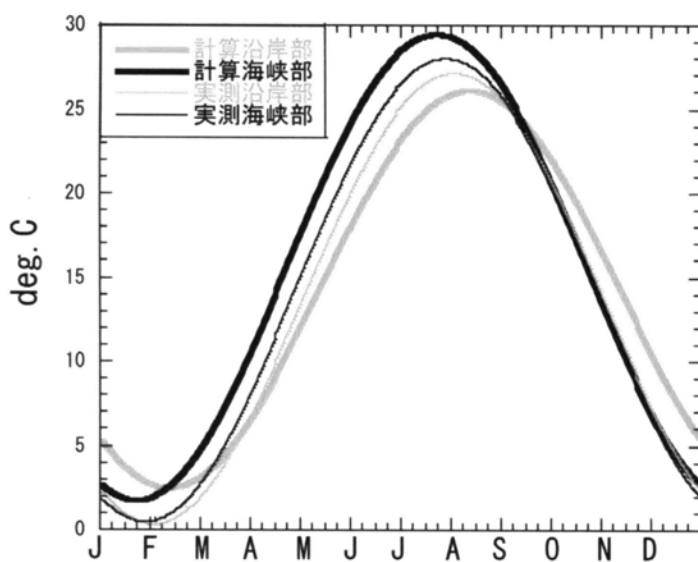
今後、物質収支モデル計算を行って、増加した窒素の起源を明らかにする予定である。

- 2) 黄河から流出した濁水の挙動特性を明らかにするために、潮流と密度流を再現した数値モデルを用いて、粒子の追跡計算を行った。その結果、下図に示すように計算結果は衛星画像による観測結果をよく再現することがわかった。



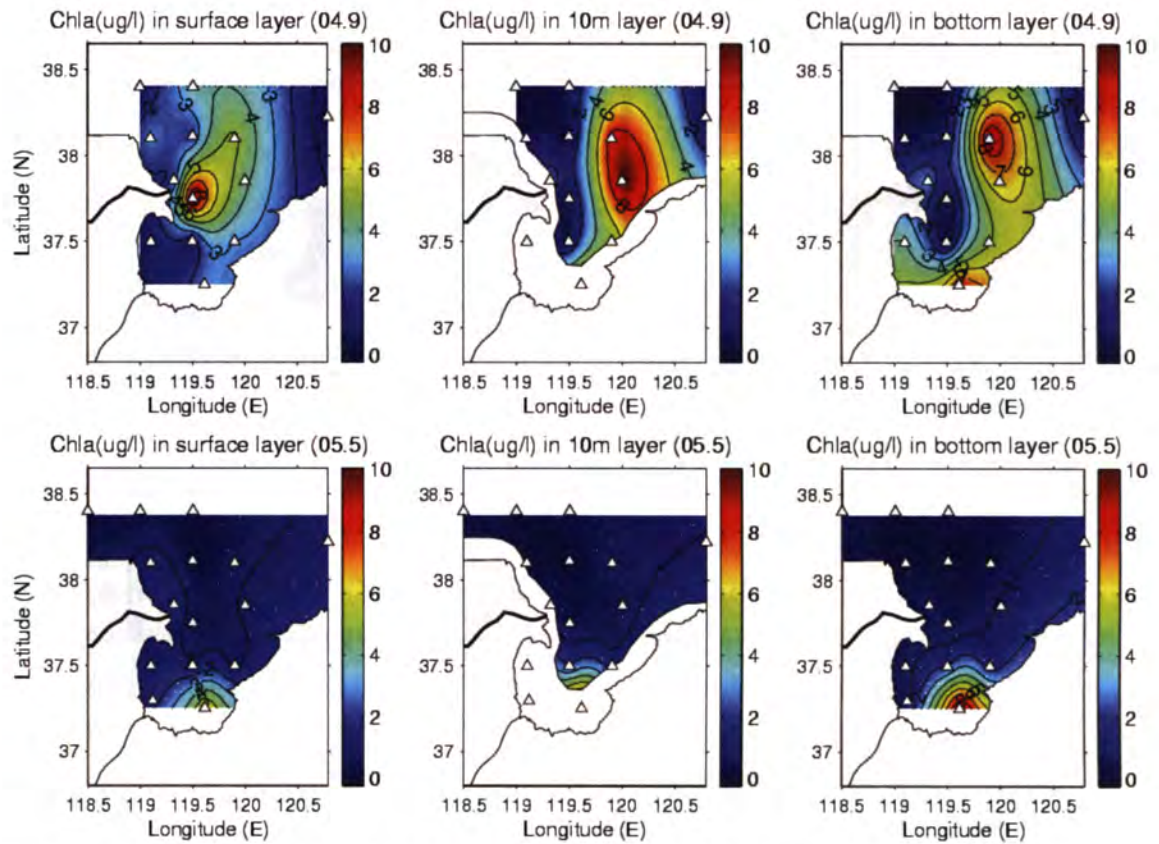
計算された黄河河口から流出した粒子分布

- 3) 渤海の地形を単純化した 3 次元数値モデル実験により海面と海峡から熱を与え、2002 年に観測された渤海海面水温の季節変動振幅・位相分布を再現することを試みた。その結果、下図に示すように、海面熱フラックスの 3 倍の振幅を持つ熱フラックスを海峡から与えた時、計算値は観測値をよく再現することがわかった。このことは渤海の海面水温季節変動は渤海海峡を通じての熱フラックスに大きく依存していて、黄河流量が減少し、海峡部での熱交換が減少すると、海面水温季節変動振幅が減少して、地域気候に影響を与える可能性を示唆している。



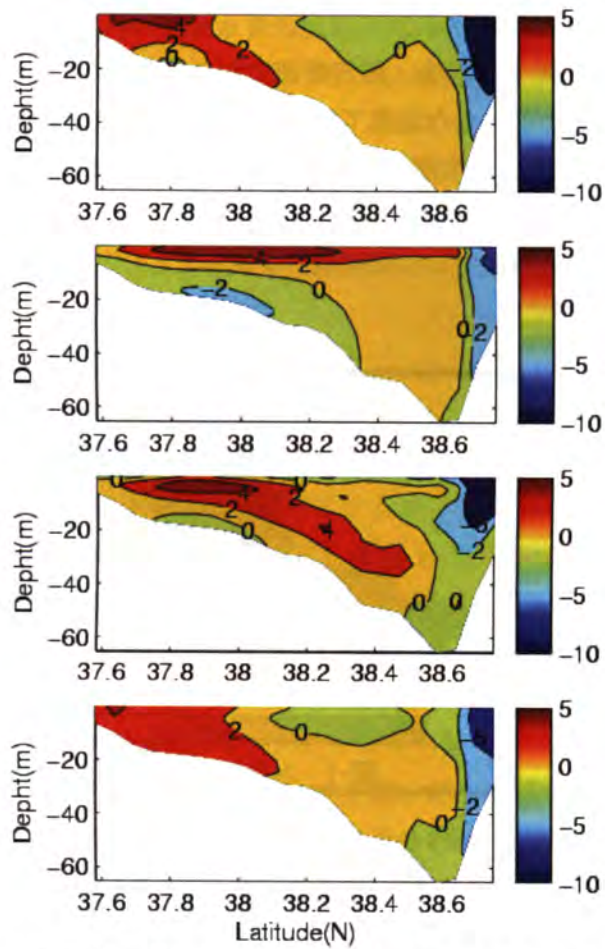
渤海海面水温季節変動の観測値と計算値

- 4) 現地観測の結果、2004 年 9 月の渤海海面 chl.a 濃度は 2005 年 5 月より高いことが明らかになった。今後数値生態系モデル計算によりこの理由を明らかにする予定である。



2004 年 9 月（上）と 2005 年 4 月の渤海における chl.a 濃度

- 5) 3次元流動数値モデルにより渤海の潮汐・潮流と水温・塩分・流動の季節変動を再現し、渤海海峡を通じての海水交換を決める残差流が下図のように季節変動していることを明らかにした。今後この変動機構を明らかにする予定である。



上から春、夏、秋、冬の渤海海峡における残差流（+は流出、-は流入）。

黄河流域の縣市別水資源需給空間構造の把握に関する研究

大西暁生，井村秀文，白川博章，方偉華

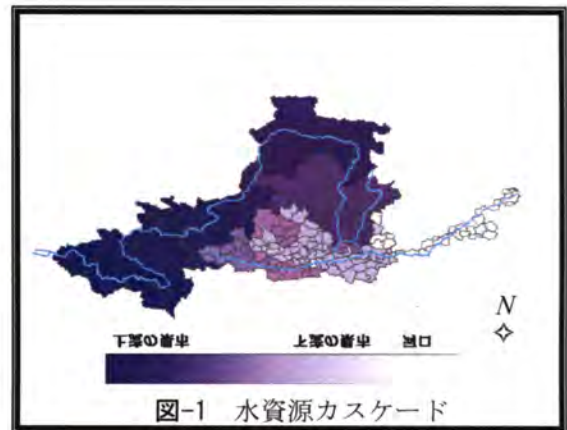
1. はじめに

黄河流域は，近年の人口増加，灌漑農業の発達と社会・経済発展における工業化，都市化の影響によって水需要量が増加している．このような状況下において，1997 年には深刻な断流現象が発生した．この背景より，著者¹⁾らは，中国で公開されている各種統計書や公報類を用い，縣市別データを基に年間単位での水資源需給分析を行ってきたが，この分析フレームを更に拡張し，季節変化を考慮した月単位での水需給推計を試みた．

2. 水資源カスケード

本研究では，河道に沿った水資源のカスケードによって黄河の河川の流れを再現する．

水資源カスケードの概略図を図-1 に示す．まず，中国国家基礎地理情報センターの 100 万の 1 データを用いて DEM (Digital Elevation Model: 数値標高モデル) から詳細な集水域を設定した．この作成した自然集水域に県市行政界を合わせ，各県市の面積が占める割合が大きい方をそれぞれの集水域に属するものとした．



集水域の本流への流入の順序に合わせ県市の順序を決定した．ただしここで，1つの集水域に 2 つ以上の県市が属する場合，それぞれの集水域における河川の上流から下流への流れに合わせて県市の順序を設定した．また，本研究では，流域全体の大局的分析を目的として，2大支流である汾河と渭河を本流とは別に考える．なお，支流から本流への流入については，汾河は韓城市，渭河は潼関県で，それぞれ黄河本流に合流するものとしている．

さらに，取水，消費（耗水），還元の一連の水循環を考慮するため，用水量に耗水率を乗じ，下流への県市に還元している．表-1 に県市(i)におけるカスケード計算の概略を示す．

表-1 カスケード計算の概要

$\text{水供給量}_{i0} = \text{上流からの流入量}_{i0} + \text{県市}_{i0} \text{の降水に基づく水資源量}$
$\text{水消費量}_{i0} = \text{各セクター(農業・工業・生活)耗水量}_{i0}$
$\text{実際流量}_{i0} = \text{下流への流出量}_{i0} = \text{水供給量}_{i0} - \text{水消費量}_{i0}$
(ただし， $\text{水供給量}_{i0} < \text{水消費量}_{i0}$ の場合は 0 とする)

2.1 水資源量

降水量は，190 の観測所の降水量データを Kriging 補間法により点データから面データに変換し，県市ごとに推計した²⁾．そして，黄河流域にのみ属する各省の域内で集計された水資源量³⁾との整合性を保ちながら各県市の水資源量を求めた．

2.2 農業用水量

月単位における農業用水量の推計には、各月の作物種別の用水原単位 (m^3/ha) と作物別の灌漑面積が必要となる。まず、作物別の灌漑面積については、全作物の灌漑面積⁴⁾と省ごとの作物種別作付面積割合⁴⁾から推計した。また、各月の作物種別の用水原単位については、「中国可持続発展水資源戦略研究報告集」⁵⁾に記載されている年間作物別灌漑定数と、「引黄灌区節水決策技術応用研究」⁶⁾に記載されている需水期間と需水パターンを参考に設定した。これらを用い、305 縣市別、月別の作物種別農業用水量を推計した。また、農業用水量は、黄河流域外の引黄灌漑区へも引水されているため、年間引水量（およそ 15 億 m^3 ）を 11 月から翌年の 2 月にかけてほぼ同量を三門峽以下の下流域において取水するものとした。

2.3 工業用水量

工業用水量は、単位工業生産（1 万元）あたり水使用量 ($\text{m}^3/\text{万元}$)（以下、工業用水原単位）に工業生産額(万元)を乗じることによって求められる。縣市ごとの工業生産額は 1996 年の実績値の報告書が存在するが、その後の年度については城市のデータしか得られない。そのため、1996 年の工業生産額と一人あたり GDP との関係式を推計し、1997 年以降の工業生産額を推計した（詳しい推計方法については文献 1 を参考とされたい）。

2.4 生活用水量

生活用水量は、1 人あたり水使用量（リットル/日・人）に人口を乗じて求める。ここで、上水道整備が進んだ都市部と農村部を分けて考えるため、上水道にアクセスできる用水人口とアクセスできない非用水人口のデータとそれぞれの原単位を整備する。水使用原単位については、中国水資源公報⁷⁾の値を用いている。用水・非用水人口については、縣市ごとのデータを直接得ることはできなかったため、城市非農業・城市農業人口のデータと城市非農業人口及び城市農業人口に対する用水普及率から用水人口を計算した。

3. 結果

黄河流域における上流から下流の各縣市の耗水量と域内の水資源量、天然流量と実際流量の結果を図-2 に示す。ここでは、黄河本流のみの結果を示す。

まず、上図から、黄河有数の大型灌漑区である河套灌区や位山灌区において、耗水量（水の消費量）が域内の水資源量（各縣市の水資源量）を上回っていることがわかる。特に、下流域の位山灌区では、年間を通じて、耗水量が水資源量を超過している。

また、下図から、1997 年 1 月から 6 月には、実際流量が河口まで到達しておらず、水需給アンバランス、つまり断流現象が発生したことがわかる（図中赤丸の縣市）。

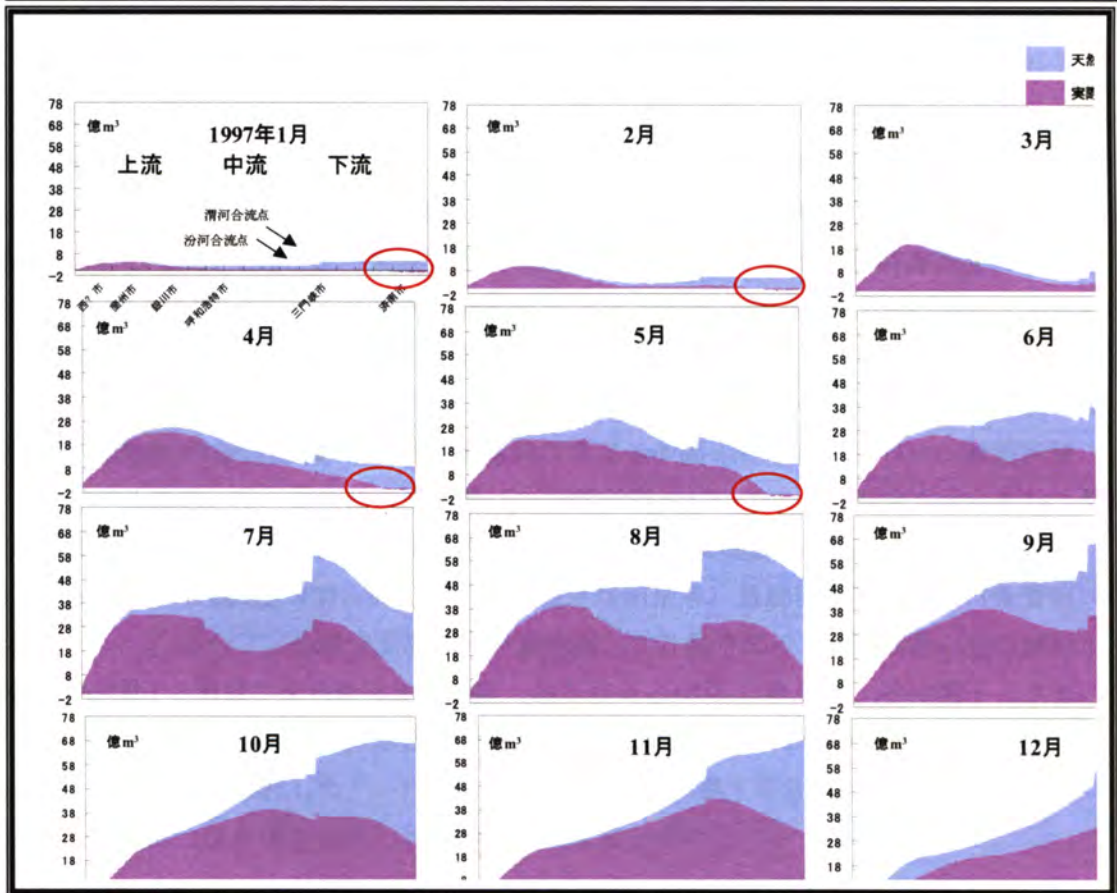
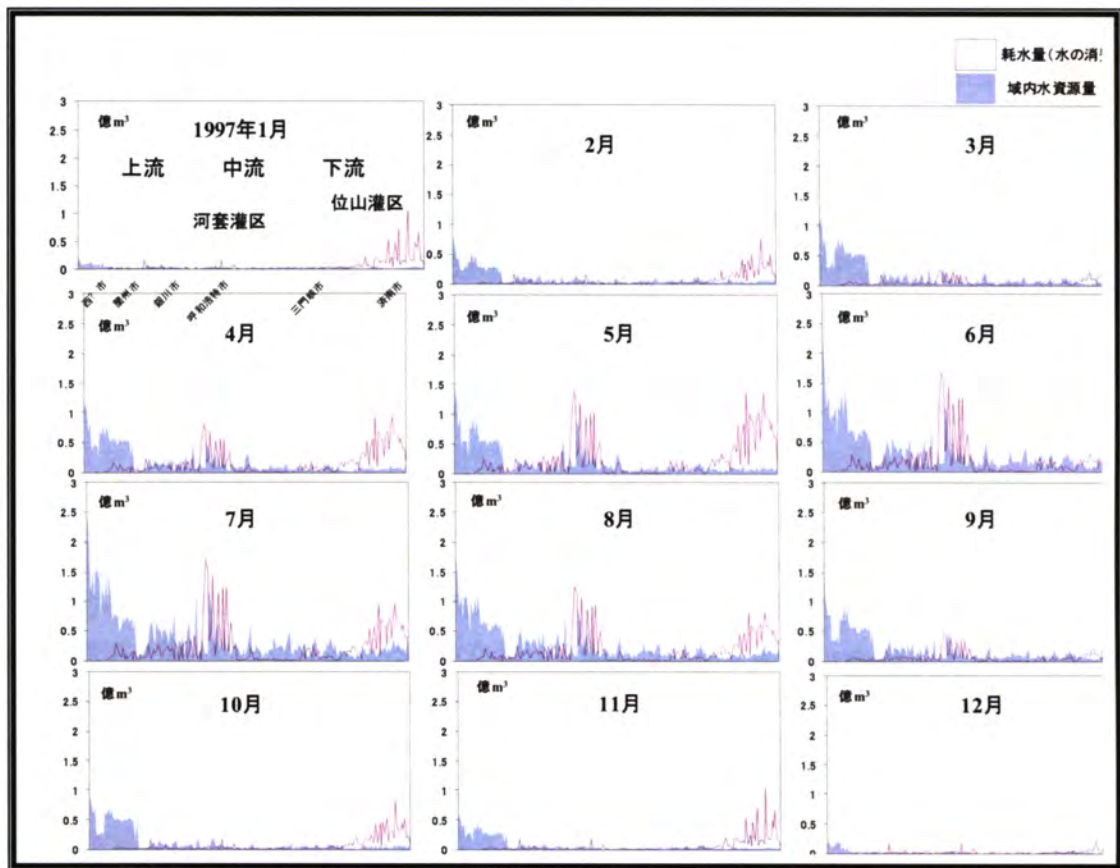


図-2 1997 年における黄河本流の水需給アンバランス (断流現象など)

参考文献

- 1) 井村秀文, 大西暁生, 岡村実奈, 方偉華: 黄河流域の縣市別データに基づく水資源需給空間構造の把握に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.33, pp.477-485, 2005.
- 2) Fang Weihua, Study on Crop Phenology and Crop Irrigation Water Requirement under Climate Variability in the Yellow River Basin, 名古屋大学大学院博士論文, 2005.
- 3) 朱曉原, 張学成: 黄河水資源變化研究, 黄河水利出版社, pp.1, 1999.
- 4) 中華人民共和国国家統計局編: 城市統計年鑑, 県(市)社会經濟統計年鑑, 中国統計年鑑, 中国統計出版社.
- 5) 石玉林 主編: 中国農業需水与節水高效農業建設-中国可持續發展水資源戰略研究報告集-第4卷, 中国水利水電, 2001.
- 6) 許迪, 蔡林根, 茆智等: 引黄灌区節水決策技術応用研究, 中国農業出版社.
- 7) 中華人民共和国水利部: 「中国水資源公報」, 中国水利部.

黄河流域の穀物生産性に関する研究

大西暁生, 園田益史, 白川博章, 井村秀文

1. はじめに

改革開放政策に転じて以来, 中国農業は大きな転換を経験した. 単位土地面積あたりの生産性 (土地生産性) の向上によって, 国全体の食糧生産は増大してきた. 中国の重要な穀倉地帯である黄河流域においてもこの事情は同じであるが, 生産性の向上が実現された要因についてはまだ十分な分析がなされていない. ここで, 土地生産性は地域ごとの自然条件や社会条件に大きく依存する. このため, 本研究では, 黄河流域を上流域・中流域・下流域・汾河流域・渭河流域の5流域に分類し, 1980年, 1991年, 1997年, 2000年の4年次を対象として, 流域別に土地生産性に影響を与えた要因の同定を行った. その結果, 生産性に影響を与えた要因は流域によって異なることを確認した. また, 生産性向上のための方策を流域別に検討した.

2. 縣市行政界と流域の区分

本研究の対象地域を図-1に示す. 一般に黄河流域は, 上流 (河源~托克托), 中流 (托克托~桃花峪), 下流 (桃花峪以下) に分類される^{1), 2)}. 本研究ではこれらの分類を参考に流域界を設定した. また汾河流域・渭河流域は, 同じ中流域でも黄河本流域とは自然条件が大きく異なるので分離することにした.

具体的な分類は, 以下の手順で行った. まず, 中国国家基礎地理情報センターの100万分の1データ³⁾を用いてDEM (Digital Elevation Model: 数値標高モデル) から集水域を同定し, 上流域・中流域・下流域・汾河流域・渭河流域の5つの自然流域界を設定した. しかし, 自然流域界と行政界は一致しないため, 県市の行政界に合わせるように境界を設定した. この際, 同じ県市が2つの流域にまたがる場合は, その県市の中心点を含んでいる方の流域に属するように定めた.

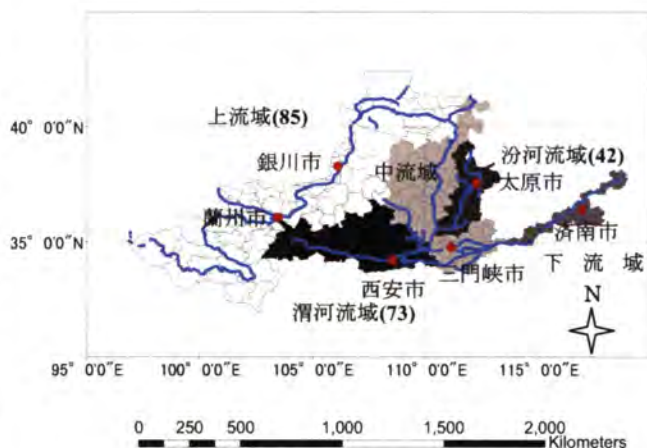


図-1 黄河流域内の5流域

図中の括弧内の値は県市の数である

3. 流域別にみた穀物生産性の要因分析

流域別における生産性とその決定要因の関係を明確にするため, 豊田ら⁴⁾の食糧生産性に関する経験式の導出を参考に分析を行う. 重回帰分析に用いた非説明変数および説明変

数を表-1に示す。ここで、作付け回数(耕地面積あたりの作付け面積)、主要作付け品種の割合は各省の統計書⁵⁾の値を用いる。主要作付け品種は、黄河流域の小麦である。

生産性を表すモデル式は、式-(1)の対数線形モデルを仮定する。回帰分析で用いた各変数は、流域ごとの県市の値であり、式中の*i*は各流域を表す。

$$\ln Vi = a_0 + a_1 \ln I_i + a_2 \ln M_i + a_3 \ln F_i + a_4 \ln L_i + a_5 \ln P_i + a_6 \ln W_i + a_7 \ln K_i + a_8 \ln T_i + a_9 \ln R_i + a_{10} Y_i^1 + a_{11} Y_i^2 + a_{12} Y_i^3 + \dots \quad (1)$$

表-1に、全変数を用いた回帰分析の結果とステップワイズ法を用いた変数選択の結果を示す。その結果の解釈は以下のとおりである。

① 上流域：生産性に対して統計的に有意で、かつ、正の影響を与えたのは、有効灌漑面積率、機械化、労働力、年平均気温、年平均日射であり、特に有効灌漑面積率の係数は、他の流域と比較して大きな値を示した。また、小麦の作付け割合は生産性に負の影響を与えている。ただし、小麦の作付け割合の係数は流域間で異なる。したがって、この符号の向きが妥当かどうかについては、さらに検討する必要がある。

② 中流域：作付け回数、機械化、化学肥料の値の大きな県市で生産性が高い。一方で、水資源量が少ない県市、年平均日射時間が長い県市で生産性が低い。

③ 下流域：生産性に影響を与えた変数の中でも労働力、機械化、化学肥料の係数が他の変数と比較して高い値を示した。この他に作付け回数、主要作付け品種の割合が生産性に正の影響を与えている。一方、年平均気温が高い県市で生産性が低い傾向がある。しかし、上流域と渭河流域では気温の係数は正であり、この符号の妥当性についてもさらに検討する必要がある。

表-1 穀物生産性の要因分析

	上流域		中流域		下流域		汾河流域		渭河流域	
	全変数	変数選択	全変数	変数選択	全変数	変数選択	全変数	変数選択	全変数	変数選択
有効灌漑率	0.46 *** (7.45)	0.42 *** (8.64)	0.07 (1.57)		0.03 (0.29)		0.00 (-0.01)		0.12 *** (4.44)	0.11 *** (5.03)
機械化	-0.09 (-1.34)		0.22 *** (2.82)	0.33 *** (5.86)	0.25 *** (3.77)	0.26 *** (4.36)	-0.05 (-0.56)		0.22 *** (4.34)	0.22 *** (4.64)
化学肥料	0.11 *** (2.83)	0.10 *** (3.02)	0.17 *** (3.24)	0.21 *** (4.41)	0.11 *** (2.97)	0.11 *** (2.99)	0.31 *** (5.17)	0.29 *** (5.61)	0.10 *** (4.11)	0.10 *** (5.00)
労働力	0.23 *** (3.06)	0.20 *** (3.07)	0.15 (1.35)		0.51 *** (6.04)	0.49 *** (6.49)	0.72 *** (5.77)	0.71 *** (8.67)	0.21 *** (3.07)	0.22 *** (3.16)
作付け回数	-0.07 (-0.37)		0.83 *** (4.52)	0.84 *** (5.38)	0.68 ** (2.41)	0.54 *** (3.15)			0.42 ** (2.00)	0.43 ** (2.07)
水資源量	-0.06 (-0.30)		-0.19 ** (-2.48)	-0.22 *** (-3.09)	0.01 (0.21)		-0.22 (-1.28)	-0.27 * (-1.80)	0.06 (1.45)	0.07 ** (2.15)
主要作付け品種の割合	-0.36 ** (-2.36)	-0.33 ** (-2.48)	-0.40 (-1.00)		2.20 ** (2.48)	1.97 *** (3.30)			-0.46 *** (-3.40)	-0.45 *** (-3.37)
年平均気温	0.26 ** (2.56)	0.28 *** (3.37)	0.13 (1.04)		-0.14 (-1.20)	-0.18 *** (-2.94)	0.15 (0.88)		0.29 *** (2.66)	0.30 *** (2.87)
年平均日射時間	0.36 (1.20)	0.28 * (1.92)	-0.62 *** (-3.39)	-0.55 *** (-3.90)	-0.11 (-0.62)		0.36 (1.04)	0.48 * (1.79)	-0.43 *** (-3.02)	-0.45 *** (-3.39)
1980年ダミー	-0.05 (-0.48)		0.50 *** (3.58)	0.66 *** (6.06)	-0.29 ** (-2.08)	-0.26 *** (-3.21)	0.33 ** (2.23)	0.37 *** (3.24)	0.00 (-0.01)	
1991年ダミー	0.06 (0.53)		0.27 ** (2.32)	0.35 *** (3.86)	-0.09 (-0.60)		0.25 ** (2.30)	0.31 *** (3.34)	0.25 *** (4.45)	0.24 *** (6.07)
1997年ダミー	0.22 * (1.97)	0.18 *** (2.64)	0.27 ** (2.50)	0.32 *** (3.24)	0.03 (0.37)		0.31 *** (2.73)	0.38 *** (4.12)	0.03 (0.50)	
定数項	5.46 *** (7.81)	5.33 *** (7.91)	9.27 *** (12.40)	9.40 *** (13.99)	7.74 *** (13.46)	7.42 *** (17.74)	4.00 *** (4.35)	4.20 *** (6.29)	7.39 *** (17.69)	7.37 *** (17.79)
Obs	224	224	296	296	100	100	160	160	272	272
重相関係数	0.71	0.71	0.55	0.54	0.80	0.79	0.63	0.62	0.76	0.76
調整済み重相関係数	0.69	0.70	0.53	0.52	0.77	0.77	0.60	0.61	0.75	0.75

***1%, **5%, *10%有意水準を示す。Obs：サンプル数

④ 汾河流域：労働力，化学肥料，年平均日射時間の高い県市で生産性が高い．他方で，水資源量の少ない県市で生産性が低い．

⑤ 渭河流域：有効灌漑面積率，機械化，化学肥料，労働力，作付け回数の高い県市で生産性が高い．その中でも，作付け回数，機械化，労働力の寄与が他の変数に比べ大きい．一方，主要作付け品種の割合，年平均日射時間の大きな県市で生産性が低いという結果を得た．

4. 流域別にみた生産性変化の要因分析

各年次間における生産性変化の要因を流域別に以下の方法で検討した．まず，各年次間における要因別の変化の差を求め，次に，重回帰分析の結果から得られた生産性の推計式を偏微分して，要因別の変化の差による生産性の変化量を推計した．その際，変化の差としては，各年次における諸要因の平均値を用いた．また，用いた回帰式は統計的な効率性を考慮して変数選択による結果とした．結果を図-2 に示すとともに，その概要を以下にまとめる．

① 上流域：1980 年から 1991 年までと 1991 年から 1997 年までの生産性の上昇は，化学肥料の増加による生産性への寄与が大きい．この化学肥料の増加による生産性の上昇は，1980 年から 1991 年までは 167kg/ha であり，それは生産性変化の 41%に当たる．1991 年から 1997 年までの生産性の上昇は 59kg/ha で，生産性変化の 96%となっている．一方，1997 年から 2000 年までの生産性の低下には，年平均気温と年平均日射時間の低下が影響している．

② 中流域：1980 年から 2000 年にかけての生産性の上昇は，化学肥料と機械化の増加による寄与が高い．1991 年と 1997 年までは，水資源量の低下が生産性に負の影響を与えており，生産性は 163kg/ha 低下した．さらに，1997 年と 2000 年では，年平均日射時間と水資源量の増加が生産性上昇に影響している．

③ 下流域：1980 年から 1991 年にかけての生産性の上昇は，機械化，化学肥料，労働力の増大に起因している．この年次間における生産性上昇への各要因の寄与度は，機械化は 53%，化学肥料は 27%，労働力は 9%であった．一方，1991 年から 1997 年までの生産性の大幅な低下は，労働力，作付け回数，主要作付け品種の割合の低下に起因する．特に，労働力の減少による負の影響は強く，生産性は 1139kg/ha 低下した．また，1997 年と 2000 年の若干の生産性低下には作付け回数，主要作付け品種の割合，労働力の低下が寄与している．

④ 汾河流域：1980 年から 1991 年までと 1991 年から 1997 年までの生産性の上昇には，化学肥料の増加の影響が強い．1980 年から 1991 年までの化学肥料の増加により，生産性は 673kg/ha 増加し，これは生産性変化の 86%に当たる．また，1991 年から 1997 年にかけては，生産性は 370kg/ha の上昇であり，生産性変化の 160%に当たる．一方，1997 年と 2000 年の間での生産性の低下は，年平均日射時間の低下が影響した．

⑤ 渭河流域：1980 年から 1991 年にかけての生産性 の上昇には，化学肥料，機械化，労

働力、年平均日射時間の増加が大きく寄与している。一方、1991年と1997年までの生産性の低下は、有効灌漑面積率と労働力の減少と年平均日射時間の増加の影響である。さらに、1997年と2000年にかけて、年平均気温と水資源量が減少したことが影響し生産性が低下した。

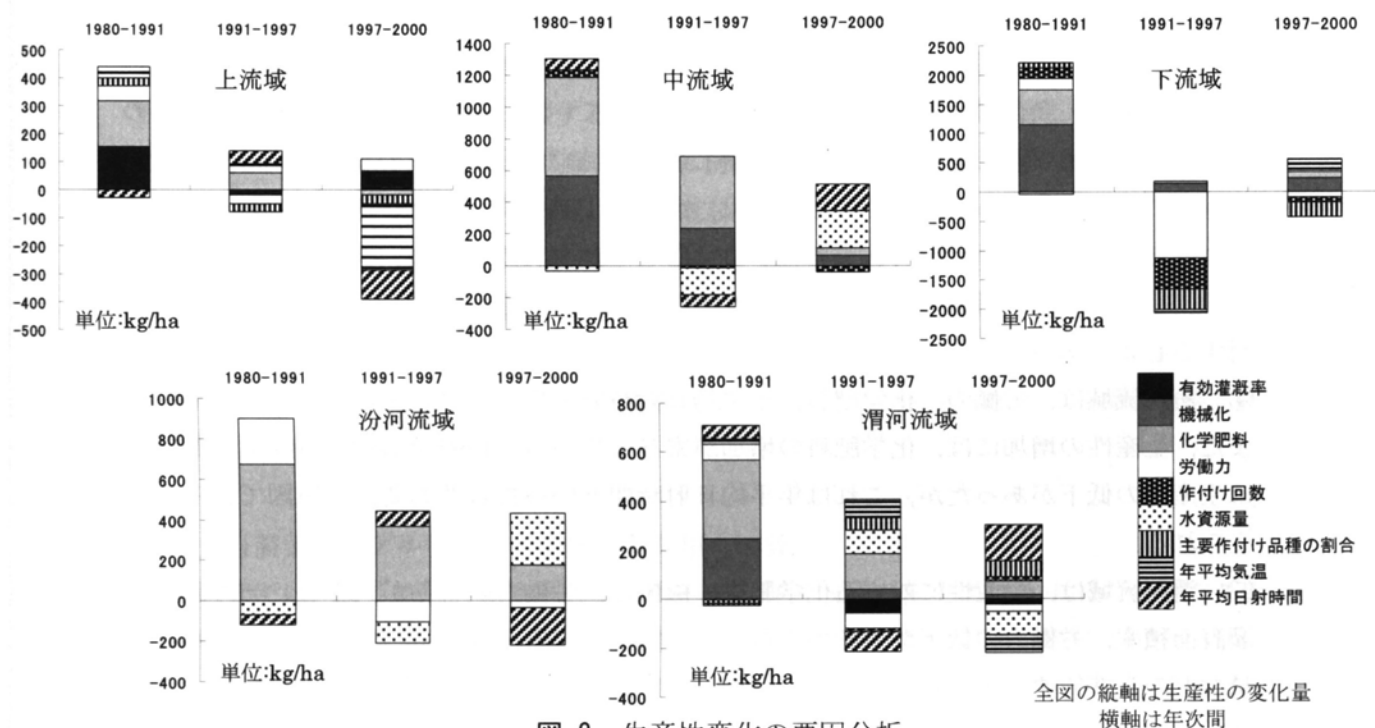


図-2 生産性変化の要因分析

5. 結論

本研究では、黄河流域の地域特性を検討するため、黄河流域内を上流域・中流域・下流域・汾河流域・渭河流域の5流域に分類した。また、研究対象年次を1980年、1991年、1997年、2000年に設定し、流域別の生産性とそれに関わる諸要因の動向を考察した。また、重回帰分析を用いて生産性と諸要因の関係を流域別に検討し、最後に、各年次間における生産性変化の要因を流域別に検討した。

本研究によって得られた知見をもとに、流域別における生産性向上のための課題を以下にまとめる。

- ① 上流域は、有効灌漑面積率の違いが流域内の生産性の格差に強く影響を与えていた。また、化学肥料の増加は、生産性の増加に貢献していた。1997年から2000年にかけては、生産性が低下していたが、これは年平均気温や年平均日射時間といった自然的要因が主な原因と考えられる。自然的要因が生産性の変化に大きく影響している場合は、その影響を緩和することで、生産性を改善する可能性も考えられる。今後、分析対象とする年を増やし、どの程度、自然的要因が生産性に影響しているかを詳細に検討する必要がある。
- ② 中流域では、機械化、化学肥料が流域内の格差の主な原因になっている。また、機械化の進展や、化学肥料使用量の増大が生産性上昇の主要な要因と考えられる。一方、水

資源量の多寡が生産性に影響し、1997 年のような水資源量の少ない年には土地生産性に負の影響を与えている。そのため、節水型農業の推進など水資源の利用効率を高めることが重要である。また、黄河上流域の灌漑面積率の増大に見られるように、上流での水の消費が増加すれば、下流では水の確保が難しくなる。そのため、黄河流域全体での水の適切な配分が必要である。

③ 下流域は、労働力、機械化、化学肥料の値の大きな県市で生産性が高い。また、これらの要因が生産性の変化にも影響を与えている。一方、近年の生産性の低下には、労働力、作付け回数、主要作付け品種の割合の低下が寄与している。特に、1991 年から 1997 年の労働力の影響は顕著であり、経済成長が著しい下流域では産業構造の変化による農業離れが進んでいると考えられる。この地域では、今後も工業化や都市化が進展していくと考えられるため、引き続き、農村人口の減少は進むと予想される。今後、機械化の進展や化学肥料使用の増加で、労働力の減少による土地生産性の低下をどこまで補えるかについて検討する必要がある。

④ 汾河流域は、労働力、化学肥料、年平均日射時間の値の大きな県市で生産性が高い。また、生産性の増加には、化学肥料の増加が寄与している。1997 年から 2000 年にかけては生産性の低下があったが、これは年平均日射時間といった自然的要因が原因であると考えられる。

⑤ 渭河流域は、生産性に対する化学肥料、機械化、労働力の寄与が大きい。一方、有効灌漑面積率、労働力の低下が生産性の低下に影響している。同様に、年平均気温、水資源量などの自然的要因が生産性の低下に影響している。

参考文献

- 1) 朱曉原，張學成：黄河水資源变化研究，黄河水利出版社，1999.
- 2) 陳維達，彭緒鼎：黄河—過去，現在和未来—，黄河水利出版社，pp.4，2001.
- 3) 1：100 万中国数值地図データ：中国国家基礎地理情報センター.
- 4) 豊田高士，陳晋，井村秀文：中国の食料生産に関する経験的關係式の導出とそれを用いた将来予測，環境システム研究，Vol. 25，pp. 111-120，1997.
- 5) 各省統計局編：青海省，四川省，甘肅省，寧夏回族自治区，内蒙古自治区，山西省，陝西省，河南省，山東省統計年鑑，中国統計出版社.

中国の経済成長に伴う食料需要変化に関する研究

園田益史, 大西暁生, 白川博章, 井村秀文

1. はじめに

中国黄河流域では経済発展に伴う用水利用の増大に伴い、水資源の不足が深刻化している。全用水量のうち、食糧生産を主として、農業セクターに投じられる水量は非常に大きい。国内の食糧生産の動向を把握すると1978年の改革開放以降より、古くからの穀倉地帯である南部地域から、中部および東北地区に食糧の主産地が移動しつつあり¹⁾、この地域で元来、逼迫している水需給状況をさらに厳しいものになっている。また近年は、食生活の高度化に伴う動物性食品の摂取量の増加により、換算ベースでの食糧の総需要量の増加が続いており、この傾向が水消費に与える影響も無視することができない。以上のような背景を踏まえ、本研究では、需要モデルを用いて、食料品目毎の価格弾性値、所得弾性値の計測を行った。さらに計測された弾性値を基に、一定割合の所得増加に伴う品目生産の水消費増加量の推計を試みた。

2. 食料需要のモデル化と黄河流域の農業用水消費

本研究では、はじめに需要体系分析を用いて、経済成長の変化に伴う中国の食料需要変化をモデル化し、検証を行う。経済成長を続ける中国では、特に都市部を中心に食生活における動物性カロリーの摂取割合が増加しており、品目のうち、肉類消費の増加に重点を置いて分析を行う。中国国内の消費需要に関する先行研究として、地域間格差を考慮しながら農村・都市別に比較分析を行った穆ら²⁾の分析を参考とした。さらにここでの食料品目の需要弾性値に基づき、所得の増加に伴う品目需要変化が、黄河流域の農業用水消費に与える影響を考察する。

3. 1 需要体系モデル-Almost Ideal Demand System

食料品目の需要変化を表すモデルとして、一般的な需要体系モデルである Almost Ideal Demand System³⁾ (AIDS) を用いた。AIDS は、家計に代表される限られた予算制約の下での、選択行動を表現することが可能なモデルであり、式(1)のような計測式と共に、式(2)のような制約条件式が加えられる。

$$i \text{ 財の支出シェア: } w_i = \alpha_i + \beta_i \ln(y/P) + \sum_j \gamma_{ij} \ln p_j \quad \forall i \quad (1)$$

$$\text{集計価格 } P: \ln P = \alpha_0 + \sum \alpha \cdot k \ln p_j + \frac{1}{2} \sum \sum \beta_{ij} \ln p_i \ln p_j \quad (2)$$

$$\text{収支均等: } \sum_i \alpha_i = 1, \sum_i \beta_i = 0, \sum_i \gamma_{ij} = 0 \quad \forall j$$

$$\text{同次性: } \gamma_{ij} = \gamma_{ji} \quad \forall i, j \quad \text{対象性: } \sum_j \gamma_{ij} = 0 \quad \forall i$$

推計された $\alpha_i, \beta_i, \gamma_{ij}$ より式(3)によって価格弾性値および所得弾性値を求める。

Marshall の価格弾性値： $\eta_{ij} = -\delta_{ij} + \gamma_{ij} / w_i - \beta_i / w_i \quad \forall i, j$ 所得弾性値：

$$\varepsilon_{ij} = 1 + \beta_i / w_i \quad \forall i \quad (3)$$

3. 2 計測対象単位・期間

AIDS 需要モデルに用いるデータセットとして、1996-2002 年の中国各省の城鎮および農村居民の消費項目別支出額・価格指数 4) のパネルデータを用いた。需要モデルの適用手順として、まず衣服、住居、交通といった大きな比較項目の中で、食料項目を位置づけ、食料品目全体の価格および所得弾性値を計測している。次に食料品目の内訳として、穀物、肉類、野菜、卵、水産物、果物の 6 項目に分類し、これらの品目の弾性値を求めた。

4. 1 計測結果

城鎮居民の食料消費における計測された需要弾性値を表-1 に示す。

表-1 城鎮居民-需要弾性値 1996-2002

	穀物	野菜	油脂類	肉類	卵類	水産物	果物
決定係数 R2	0.7282	0.4451	0.4106	0.2958	0.5700	0.7329	
Marshall価格弾性値	-0.9374	-0.5616	-0.3619	-1.0901	-1.1921	-0.3702	-0.6434
所得弾性値	0.2035 (18.95)	0.7076 (9.35)	0.4577 (7.54)	1.1717 (4.24)	0.3459 (9.67)	2.7807 (19.33)	1.7116 (1.89)

注) 括弧内は t-値を示す。

AIDS では穀物～果物の 7 品目に関する制約条件式の下で、穀物～水産物までの 6 品目の回帰式を推計している。

そのため、果物については決定係数を示していない。

4. 2 需要モデルの検証

得られた価格・所得弾性値より計算した需要量を実際量に基づいて検証する。ここでは 1996 年の中国全土 1 人当たりの需要量を基準値 100 とし、2002 年までの実際量と計算値を示している。図-1、図-2 は、肉類について価格および所得弾性値に基づく計算需要量をそれぞれ示したものである。肉類需要においては、価格弾性値に基づく計算値が比較的良く当てはまっていることが分かる。同様に図-3 は野菜について、価格弾性値に基づく計算需要量を示し、図-4 は穀物について、所得弾性値に基づく計算需要量を示している。ここでの検証においては、穀物について所得及び価格弾性値に基づく計算量は共に実際量を 10-20%程度上回る結果となっている。これは、米、小麦、トウモロコシといった需要傾向が異なる品目を穀物として 1 つの品目で表している事が 1 つの原因と考えられ、穀物の品目内訳を考慮した計測が課題である。

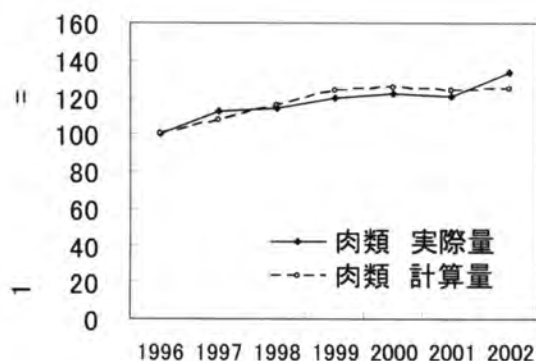


図-1 肉類 価格弾性値に基づく計算需要量

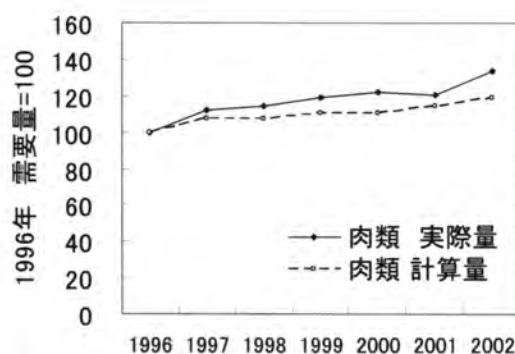


図-2 肉類 所得弾性値に基づく計算需要量

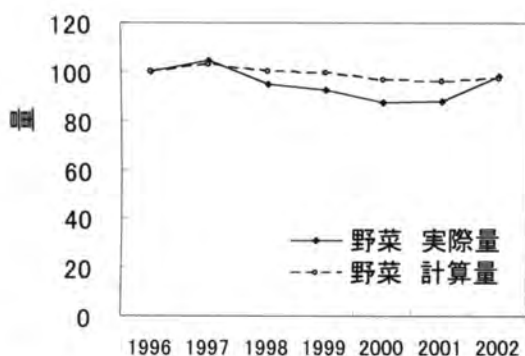


図-3 野菜 価格弾性値に基づく計算需要量

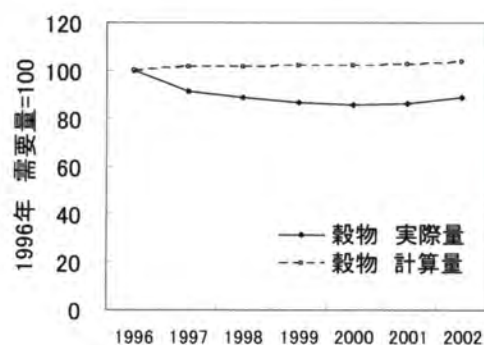


図-4 穀物 価格弾性値に基づく計算需要量

5. 食料需要変化に伴う灌漑用水増加量の推計

得られた所得弾性値に基づき、所得の増加率に対する品目需要量の増加割合を求め、この需要増加に比例して品目毎の生産量が増加すると仮定する。図-5はこのような仮定に従って、黄河流域の各省において、所得が1%増加した場合の品目生産毎の灌漑用水の消費増加量を推計したものである。推計には省単位の品目毎の灌漑定数⁵⁾及び灌漑率を用い、肉類については主な飼料であるとうもろこしの原糧ベースで換算している。換算比率は重量比で1対3とした。省別に見ると食料生産量の大きい山東省、河南省で追加的な水消費量が大きいことが分かる。また、所得弾性値の大きい、肉類を通じた間接消費による水消費量が非常に大きいことが示されている。次いで、野菜の需要増加に伴う水消費量が大きく示されている。

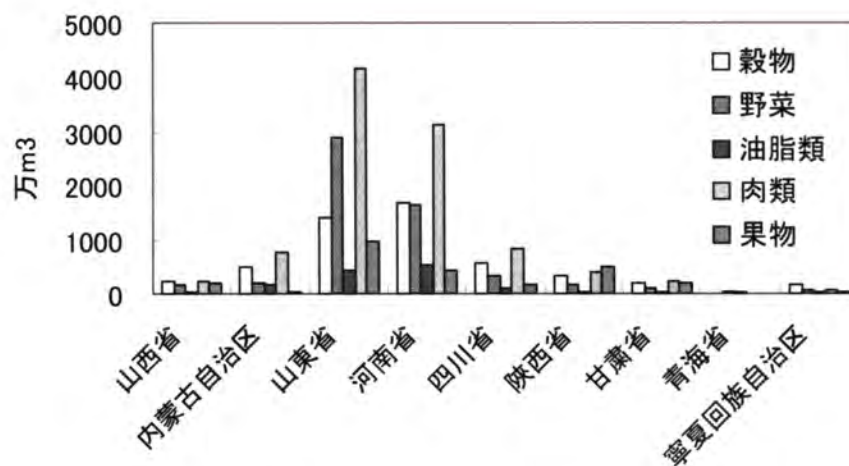


図-5 所得 1%増加に伴う品目灌漑用水増加量
(城鎮居民の所得弾性値に基づく)

参考文献

- 1) 嚴善平: 中国農村・農業經濟の転換, 勁草書房, 1997
- 2) 穆月英, 松田敏信, 笠原浩三: 中国の食料消費の需要体系分析-都市部と農村部の比較を通して-, 農林業問題研究, 2001. 3 月
- 3) Deaton and Muellbauer : An Almost Ideal Demand System, The American Economic Review, Vol. 70, No. 3, 1980
- 4) 中華人民共和国国家統計局編: 中国統計年鑑, 中国統計出版社
- 5) 石玉林 主編: 中国可持續發展水資源戰略研究報告集-第 4 卷, 中国水利水電, 2001

山西省の社会経済的特性と水資源管理政策

名古屋大学大学院環境学研究科

白川博章・石峰

1. はじめに

山西省は、黄河流域の中でも最も水資源の不足に直面している地域の1つである。本報告では、山西省における社会経済的特徴と水資源管理の関係を検討し、水資源管理に関する問題点を整理する。

2. 山西省の社会経済的特徴と水資源の状況

山西省における2003年の1人当たりGDPは、7,435元である(図1)。全国平均は、9,101元であり、山西省は31省市中17番目である。山西省は、国内最大の石炭産地として有名であり、2003年の生産量は4.5億tである(図2)。

他方、山西省は黄河流域でも最も水不足が深刻な地域の1つでもある。一人当たり水資源量は437m³であり、全国平均の20%にしか過ぎない(図3)。山西省における水の用途

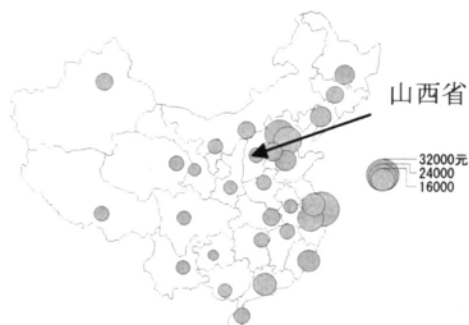


図-1 1人当たりGDPの比較(2000年)
(出所) 中国統計年鑑より作成。

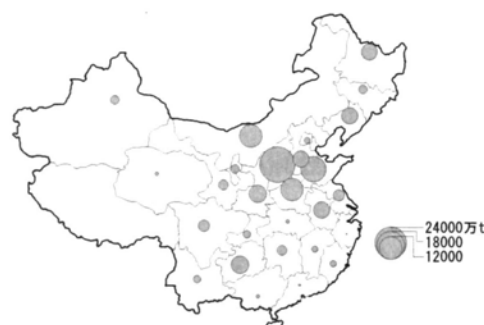


図-2 石炭の生産量(2003年)
(出所) 中国統計年鑑より作成。



図-3 1人当たり水資源量(2000年)
(出所) 中国水資源公報2000年より作成。

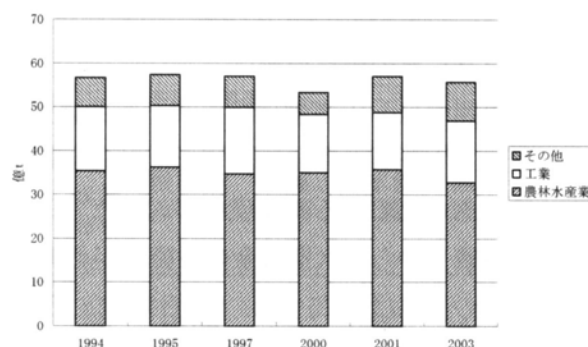


図-4 山西省における新規取水の用途
(出所) 1995年はChenより、他は山西省統計年鑑より作成。

を図4に示す。2003年における新規取水使用量は、55.75億tであり、内訳は、農林水産

業 62.7%、工業 22.9%、その他 14.9%である。水の消費量およびこの比率は、1994 年以降、大きな変化はない。

図-5 に産業連関分析を用いて最終需要から誘発された水消費量の分析結果を示す。この結果から、農業用水は主に省内の需要（農村消費と都市消費）に誘発され、工業用水は域外の需要により誘発されていることが分かる。

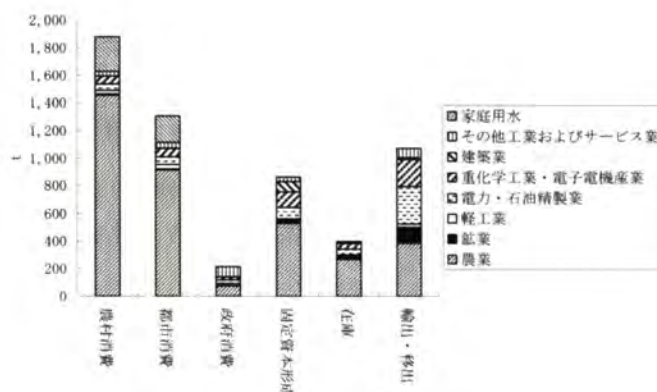


図-5 1人当たり水資源量（2000年）
（出所）中国水資源公報 2000 年より作成。

3. 水資源管理の現状と課題

（1）直接規制の動向

山西省では、節水対策として強力な直接規制が導入され、主要な役割を果たしてきた。山西省で水資源に関する規制が本格的に始まったのは、1982 年の「山西省水資源管理条例」からである。山西省の省都である太原市では、1985 年に節水管理弁法が制定され、1997 年には太原市節水条例が制定された。この条例は、増改築の際に節水器具を導入することや、水使用量の割り当てを定めたものである。この条例は、2004 年に改定され、規制の水準が引き上げられた。2004 年における改定の要点は以下の通りである。

第 1 に、計画用水量を超過した場合の課徴金率が明文化された。すなわち、10%までの超過利用は、現行の水価格に相当する課徴金が課せられ、20%で 2 倍、30%で 4 倍と税率が累進的に増大する。第 2 に 3 ヶ月にわたり計画用水量を超えて水を使用し、かつ対策を取らない場合、政府は給水を停止することができることになった。第 3 に、水の再利用が可能であるにも拘わらず、それをしない場合、管理主体は計画用水量を削減することができるようになった。

（2）水の価格規制

中国では、山西省に限らず一般的に水の価格は低く抑えられ、そのことが水の浪費につながっていると指摘されてきた。しかし、1997 年には、黄河の河口から上流 700km にかけて水がなくなる断流現象が起きた。この深刻な水資源不足を背景として、中国では 1990 年代後半から、水道料金の見直しが行われている。例えば、天津市における 1998 年の工業用水の価格は 0.25 元/t、北京は 0.28 元/t であった。しかし、それ以降、何度か料金が改定され、2001 年には天津市は 3 元/t、北京市は 2.4 元/t へと、それぞれこの 3 年間で 12 倍と 8.7 倍に上昇した 4)。山西省の太原市でも同様に、工業用水の価格は上昇傾向にあり、1995 年には 1.3 元/t であったが 2005 年には、2.45 元/t まで上昇した。

ただし、価格政策は産業間で異なっている。工業用水の場合、価格の設定は製造原価の 2%

以下になるように設定されている。これに対して、水を多く使用するサービス業に対してはこうした制限は設けていない。例えば、公衆浴場の場合、水道料金は万家寨導水プロジェクト以前の2003年11月以前には10元/tであったが、プロジェクト開始後は15元/tまで引き上げられた。この結果、公衆浴場事業者の用水コストは総費用の10%にまで達している。

(3) 退耕還林事業

他方、最も水資源消費量の多い農業では、傾斜地での農地利用については、水源涵養と土壌流出防止の観点から制限が設けられ、耕作地が林地に還元されている。これはいわゆる、「退耕還林」事業である。退耕還林事業は、1999年に四川省、甘肅省、陝西省でモデル活動として始まり、2002年に正式な事業として開始した。事業期間は、2010年までである。2002年までに中国全体において水土保持を行った県・区は700カ所余りに上り、面積は5万5,000 km²である。投入された資金は、総額で57億600万元であり、そのうち、中央の投資は16億1,900万元であり、地方政府は9億4,100万元を負担した（中国環境年鑑編集委員会 2003）。

国の食糧・現金補助について、耕作を停止した土地の利用者に対する食糧補助の基準は、黄河流域では年間1ha当たり未加工の穀物1,500 kgであり、生活補助は年間1ha当たり300元である。食糧補助と生活補助の支給期間については、1999～2001年の草地の回復に関し補助は5年計算、2002年以降の草地の回復については2年計算、経済林の補助については5年計算とし、生態林の補助については暫時8年計算とする。耕作を停止した土地および荒れ山・荒れ地の造林については、種苗造林費補助を1回限りで1ha当たり750元支給している（国際協力機構 2003）。

山西省では、2002年に「水土流失防止エリアにおいて伐採および放牧を禁止することに関する決定」を公布し、全ての重点処理エリアに対する全面的な伐採および放牧の禁止を行った（中国環境年鑑編集委員会 2003）。2003年に山西省が支出した退耕還林に関する費用は、33億元でありこれは、林業経費の約50%、財政支出全体の0.7%を占める。

4. 社会資本整備の課題

水不足への対策の1つとして、污水处理による水の再利用も重要な課題になっている。太原市は水不足を背景とし、污水处理を重視している。1956年には、すでに北郊污水处理場(北郊)を建設した。現在、污水处理場は、山西省最大の污水处理場(楊家堡污水处理場(楊

表-1 太原市における污水处理施設

	污水 収集 面積 km ²	設計能 力 万t/日	処理 人口 万人	污水処 理量 万t/年	累積 投資 万元	運営 コスト 元/t
生活污水处理場						
楊家堡	58	16.64	56	5353	14253	0.35
北郊	18.1	8	16	363	7668	1.28
殷家堡	21	1	13	375	467	0.84
河西北	35	15	70	2182	12272	0.36
工業污水处理場						
太鋼	-	16.4	-	3650	17000	0.58
南堰	-	6	-	1460	5050	-

家堡))の他に、殷家堡污水处理場(殷家堡)と河西北中部污水淨化有限公司(河西北)污水处理場、全部で4つの生活污水处理場がある。下水道は367本整備されており、全長340.39kmとなっている。その他に、工業污水处理場は2つあり、太鋼污水处理場(太鋼)と南堰污水处理場(南堰)である(表-1)。更に、城南污水处理場と尖草坪污水处理場とを2つ建設する計画があり、処理能力は26万/日と5万/日である。稼動しはじめると、予測として、太原市の污水处理率は70%まで達することができる。

太鋼污水处理場は、太原鋼鐵集團有限公司に属し、処理後の污水の再利用率は93%である。1トン鉄鋼を生産するに対し、新鮮水使用量は90年代の初めの43.8トンから2004年の9.63トンまで下がった。

南堰污水处理場は、太原市化学工業集團有限公司(太化)に属し、太化は中国唯一の供水・污水处理・中水再利用できる企業である。平均的な年において、供水量は1520万トン、污水处理1550万トン、中水再利用840万トンである。水源は地下水であり、80数個の井戸があり、ポンプ場5箇所が整備されている。水処理場は2002年から運営しはじめ、処理污水2.4万トン/日、処理後水質は生活雑用水基準に達することができる。

污水处理施設の整備では、その財源が大きな問題となっている。污水处理場の建設資金は主に国債で賄われており、他に銀行ローンや地方の債券などがある。形式は異なっているが、実質的にはすべて政府が資金の調達を行っている。外国からの資金による建設には、2つの処理場での実績がある。1つ目は、楊家堡污水处理場であり、汚泥処理設備投資はフランスからの300万米ドルの借款を行っている。2つ目に、堰污水处理場の中水再利用プロジェクトの投資には日本政府の対中国援助の7760万元を用いている。今後は、建設計画中の城南污水处理場はBOT形式を採用する予定である。

5. まとめ

山西省の主要な河川である汾河は、1980年代以降、断流が状態している。この原因は、経済活動とも密接に関係している。山西省では主に直接規制を用いて節水対策を行ってきた。しかし、更に経済成長が進むことを考慮すれば、これまでの直接規制中心の対策に経済的手段を加え、産業構造自体を節水型に誘導していくことが重要であると考えられる。また、官民パートナーシップなど、政策を実施するための新たな資金調達の方法を検討することも大きな課題である。

参考文献

- 国際協力機構(2003)中国生態環境政策及び「6大林業重点事業」実施状況、
<http://www.jica.go.jp/china/library/seitai/index.html>
山西省統計局:、山西省統計年鑑各年版、中国統計出版社。
中国環境年鑑編集委員会(2003)中国環境年鑑、中国環境年鑑社。
中国国家统计局、中国統計年鑑各年版、中国統計出版社
Chen X.(2002) Shanxi water resource input - occupancy - output table and its application in Shanxi Province of China, Paper for the thirteenth International Conference on Input-Output Techniques.

Disaggregating Statistical Crop Area with Landsat Imagery in Fenhe River Basin

---Aiming at Crop Irrigation Water Requirement Study

Weihua FANG*, Hidefumi IMURA**, Ji HAN** and Xin CAO**

*Japan Science and Technology Agency, Core Research for Evolutional Science and Technology

**Department of Urban Environment, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, Japan

1. Introduction

The Fenhe River basin (FRB), a sub-river basin of the Yellow River basin (YRB), has been experiencing temperature increase, precipitation decrease, and consequently severe water stress for the past several decades. The FRB became drying-up from more than 10 years ago, which was more severe than rest parts of the YRB. The agriculture sector consumes most of the available water resources in the FRB. Differing from domestic and industrial sectors, the area water requirement of agriculture sector is highly spatially heterogeneous. Therefore, it is of importance to derive spatial crop distribution to appropriately estimate crop irrigation water requirement, and its adaptation to climate changes.

There are generally two ways to derive crop distribution information. The traditional way is to obtain statistical data of crops based on administrative boundaries like county or province. There are some merits for statistical data such as relatively easy to achieve long time series, and it is suitable for macro study that does not require fine spatial resolution. Another way is to detect crop distribution by remote sensed data, which can provide high spatial resolution information. However, the validation of classification accuracy, long-term data availability may hurdle the implementation of this method.

The goal of this study is to integrate statistical crop data and classified remote sensed distribution, by disaggregate statistical crop area with Landsat imagery in FRB.

2. Method and data

The major desegregating steps are as follows: 1) classifying and validating remotely sensed data focusing on crop area information extraction; 2) collecting statistical data of crop area in county level of the Shanxi province of China; 3) upscaling the 30-meter TM images to 1km grids. 4) disaggregating statistical crop area with the statistical crop area data as weighting parameter..

For the remotely sensed data, altogether six scenes of Landsat TM images in the year of 1996 covering the FRB were obtained. The crop area was classified into a) dryland A: crop area on slope larger than 25 degree, b) dryland B: crop in plain area, c) dryland C: crop on upland area, d) dryland

D: dryland in mountainous area, and e) paddy field. The classification was implemented by the following steps: 1) TM images were unsupervised to 100 sub-types. 2) Each sub-type was checked manually and some of the sub-types was regarded as satisfactory results. 3) The unsatisfactory sub-types were re-classified by supervised classification. 4) The final classification was achieved with expert knowledge mainly by coupling information like elevation, slope and direction derived from Digital Elevation Model (DEM).

For statistical data, the crop areas of counties which have overlay portion to FRB were collected, primarily from the Yearbook of Shanxi Province (see Table.1 for example).

Table 1. Example of county-level statistical data about crop areas in Shanxi Province

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ID	省	县	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2	140101	14	太原市辖区	4		3.0	2		1	6
3	142401	14	榆次市	948	1162	860.0	1015	975	1077.0	465
4	142402	14	介休市	397	527	385.0	405	200	122.0	51
5	142427	14	寿阳县			1.0				
6	142429	14	太谷县	810	910	750.0	819	631	448.0	279
7	142430	14	祁县	957	1272	890.0	927	710	837.0	481
8	142431	14	平遥县	4799	6449	4273.0	2427	2613	1771.0	892
9	142433	14	灵石县	1	1	2.0				2
10	142601	14	临汾市	2373	2431	1623.0	1781	931	542.0	356
11	142602	14	侯马市	805	1017	917.0	576	364	736.0	516
12	142603	14	霍州市	408	416	501.0	503	307	333	346
13	142621	14	曲沃县	2010	1945	1788.0	1078	331	543.0	483
14	142622	14	翼城县	1669	1113	1873.0	1642	852	756.0	432
15	142623	14	襄汾县	3545	6340	5903	3010	306	971	301
16	142625	14	洪洞县	2516	2284	1880.0	2052	931	593.0	722
17	142627	14	古县	97	85	183.0	133	82	93.0	41
18	142636	14	汾西县	34	40	64.0	30	11	37.0	30
19	142701	14	运城市	7500	7985	8021.0	4897	3434	4684.0	3189
20	142702	14	永济市	12238	10341	13255.0	13358	9167	12028.0	11518
21	142703	14	河津市	1173	622	1192.0	939	504	502	465
22	142723	14	芮城县	4029	2653	3070	2674	1328	2172.0	1650
23	142724	14	临猗县	11990	8977	12021.0	12010	7010	7196.0	5579
24	142725	14	万荣县	1636	1311	2311	535	396	1216.0	488
25	142726	14	新绛县	6118	6190	4063.0	3238	1055	1624.0	3200
26	142727	14	隰山县	6827	4558	6132.0	2863	893	1328.0	726
27	142729	14	闻喜县	1518	1352	1914	2109	1360	1828.0	1542
28	142730	14	夏县	3931	4783	5043.0	3800	2899	4261.0	3036
29	142731	14	绛县	961	1197	1413	1018	516	532.0	487
30	142732	14	平陆县	1139	881	1002.0	1251	887	1022.0	854
31	142733	14	垣曲县	1417	1271	1449.0	1269	520	1051.0	1002
32	142333	14	交口县							
33	142401	14	榆次市	948	1162	860.0	1015	975	1077.0	465
34	142402	14	介休市	397	527	385.0	405	200	122.0	51

3. Result

The maize, spring wheat, and winter wheat distribution were disaggregated in this study. The classified TM images and disaggregated maize distribution of the Fenhe River basin are illustrated as an example in Fig. 1.

4. Discussion

The results may provide relatively good spatial information of crop distribution in the FRB, which may help understand agriculture water requirement of Shanxi Province. The 1km crop grids in FRB were integrated into a crop water requirement estimation model in the afterwards study.

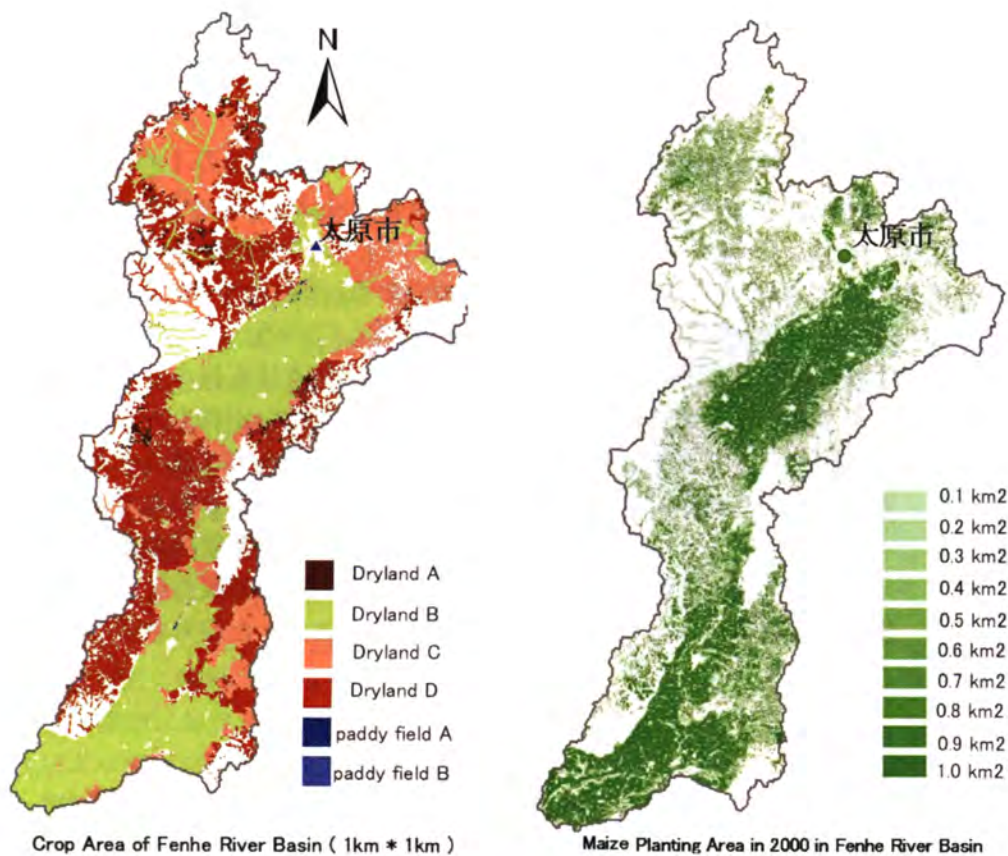


Fig. 1 map of cropland classification (left) and disaggregated maize area in 2000(right).

山西省における水資源管理政策の評価 ー工業用水を中心としてー

石 峰・白川博章・井村秀文

1. はじめに

山西省は、北京市の南西で、黄河の中流に位置する。面積 156,271km²、全国の 1.63%に占める。山西省の長所は煤（石炭）、短所は水である。石炭生産量は、4.5 億 t（2003 年：中国国内 1 位/31 省市）で、水資源量総量は、全国の 0.46%（2000 年）に過ぎない¹⁾。1980 年代から工業をはじめ、経済の急成長と人口の増加により、水の需給ギャップは増加しつつある。そのため、地下水水位の低下、水質の悪化を招くとともに、省内最大の川の汾河では断流が常態化している。

水資源を効率的に管理するには有効な水資源政策が必要である。山西省は石炭など鉱物資源が豊富な地域で、発電、鉄鋼などエネルギー・重工業が立地している。これらはいずれも大量に水資源を使用する産業である。しかも、80 年代から工業 GDP 増加率が農業の増加率と比べて遥かに高い²⁾。したがって、水資源管理の一環として、工業における水資源管理政策は大きな役割を担っている。

本研究の目的は工業セクターを中心として、山西省で実施されている水資源管理政策の効果を検討することである。以下では、まず、直接規制、価格政策、および企業の節水対策の現状に関する現地調査結果を述べ、次に、用水価格の妥当性について、一般均衡分析で検討した結果を述べる。

2. 現地調査

2.1 調査対象

調査対象は、汾河の断流現象が起こった地点であり、かつ山西省の首都でもある太原市とした。太原市は中国北部の主要な工業都市であり、この地域で産する豊富な石炭を利用して、冶金、機械、化学工業などが立地している。2000 年における人口は 336.39 万人、GDP は 346.53 億元であり、1 人当たり GDP は 10,301 元で中国の全国平均の 1.46 倍、汾河流域の 1.81 倍である。しかし、多年平均の降水量は 468.4mm しかない。1 人当たりの年間水資源量は 243m³で、全国平均値の 10.6%、黄河流域の平均の

表 2.1 太原市の社会経済状況

	多年平均降水量 (mm)	人あたり年水資源 量 (m ³)	人口(万人)		GDP (100 million)		人あたり GDP(元/人)
			農業人口	非農業人口	総GDP	工業	
太原	468.4	243.0	126.5	209.9	346.5	266.7	27393.7
汾河流域	—	—	959.1	413.4	782.9	442.9	8162.9
山西省	—	—	2386.0	861.8	1643.8	706.4	5137.0
黄河流域	459.6	721.0	5106.8	1834.1	5066.8	—	9921.6
全国	823.9	2313.0	89594.0	36989.0	89388.5	39566.0	9977.1

(出所) 各年鑑により筆者作成

33.7%に過ぎない。(表 2.1) 深刻な水不足に直面している中国北部地域の中でも、とりわけ逼迫した状況にある。

2.2 調査時期と内容

現地調査は 2005 年の 2 月と 9 月の 2 回行った。2 月には、太原市環境保護局、市節水オフィス、水務局、市政局、河西北中部污水浄化公司、楊家堡污水处理場を訪問して、インタビュー調査を行った。また、楊家堡污水处理場をはじめ、4 箇所の污水处理場と節水灌漑地区の現地視察を行った。2 月の調査を通じて、太原市の水資源及び水利用の現状、現行の政策、水処理の状況及び水質管理政策を把握した。調査結果は今年 4 月の地球研ニュースレターで報告した。

さらに、詳しく導水の影響及び工業の水利用現状を明かすために、9月に第2次現地調査を行った。太原市水道局にインタビューをし、工業用水について、採掘業・食品業・石炭加工業・機械産業など用水量の多い産業を中心として調査を実施した。訪問調査した企業は太原市の西山煤電株式会社に所属する西銘炭鉱、山西水塔集团八場、太原煤炭气化集团有限責任公司に所属する第2コークス工場、太原重工集团である。以下に、9月の第2次現地調査結果を報告する。

2.3 調査結果

2.3.1 導水の影響

水資源不足及び水質改善の抜本的な打開策として提案され、実行されたのが黄河本流からに導水する「万家寨導水工程（プロジェクト）」であった。このプロジェクトは国家水利局と山西省、内モンゴル自治区政府の協力の下に、総投資 60.58 億元で、黄河中流に建設する万家寨ダムから年間 12 億^{トン}（黄河の水量の約 3%）を取水し、山西省の省都である太原市、朔州市及び大同市に導水するという一大プロジェクトである。長さ 43.5 km の主幹線と、長さ 101.72 km の南支線、長さ 166.88 km の北支線から構成している。毎年 6 億 4000 万^{m³}の水を太原市へ供給する。5 億 6000 万^{m³}の水を朔州市と大同市に供給する。

1993 年に施工し始め、2003 年 10 月末に南支線が完成し、太原市に毎日 21 万^{トン}の水を供給し始めた。これによって、太原市の水資源問題は緩和された。しかし、調査によると、黄河からの導水はコストが高く、8-10 元/^{トン}である。一般市民はもとより、企業にとっても、かなり重い負担である。現在省・市政府が一部分を負担しているが、今後、政府の負担は徐々に削減していく方針で、個人・企業の負担は大きくなる見込みである。導水前後の水料金などの状況を表 2.2 に示す。導水前後の水価格は高くなったが、水使用量はあまり変化しない。黄河水の使用により井戸を閉鎖し、節水効果と相俟って地下水の利用は減少した。



図 2.1 万家寨導水工程
<http://www.sxga.com.cn> <http://www.tidi.ac.cn>

表 2.2 導水前後の状況

		導水前	導水後
供水状況	地下水	50 万 ^{トン} /日	29 万 ^{トン} /日
	黄河水	0	21 万 ^{トン} /日
買う価格			黄河水は 2.28 元/ ^{トン}
売り価格	水資源費	0.1 元/ ^{トン}	0.5～0.6 元/ ^{トン}
	生活用水費	1.75 元/ ^{トン}	2.45
	工業用水費	2.7	3.3
地下水使用状況			219 の井戸閉鎖、23.4 ^{トン} /日を節約した（2.4 ^{トン} は節水により）
漏失率		15%	
用水現状		工業 40% 生活 60%	
今後の価格変化		0.2～0.3 元を上げる予定	

2.3.2 工業の節水状況

2005 年 9 月に工業用水を中心に節水状況を調査した結果を Appendix に示す。鉄鋼会社、コークス会社及び機械会社の水の循環使用率は 90%以上で、非常に高い水準である。また、生産高は年々増えるに対して、新規取水量は次第に減少していることも調査の結果明らかになった。

調査結果により企業の万元生産高当たり新規用水量を求めた。これを 2003 年の中国及び日本の万元生産高新規用水量と比較した。比較結果を表 2.3 に示す。太原市の工業の節水レベルは、先進国の日本の水準に近く、既に高い水準にあることが分かった。

表 2.3 太原市の工業における節水レベル

太原市 (調査)			中国 (2003) ²⁾		日本 (2003) ³⁾
企業名	万元生産値 新規用水量	100万円産値新 規用水量 ¹⁾	産業	万元生産値 新規用水量	100万円産値新 規用水量
西銘炭鉱 (西山煤电株式 会社)	2.53	18.2	石炭採掘業	31.8	—
山西水塔集団八場	6.5	46.7	食 料 品	47.2	50.4
第2コークス工場 (太原煤炭 气化集团有限责任公司)	12.1~16.2	87.0~116.5	石油・石炭製品	40.6	32.9
太原重工	3.25	23.4	一般機械器具	7.0	7.3
太原鉄鋼	10.1	72.6	鉄 鋼 業	54.8	122.7

1) 2003 年の平均為替で換算した値。 <http://www.searchina.ne.jp/exchange/>

2) 中国環境統計年報 2003

3) 平成 15 年工業統計表「用地・用水編」データ (経済産業省経済産業政策局調査統計部)「平成 17 年 5 月 31 日公表」

2.4 調査のまとめ

現地調査を通じて、現地で実施されている政策及びその影響を把握した。主な結果を以下に示す。

- 水資源の絶対的不足で、導水プロジェクトを導入するに至った。
- 給水コストの上昇により価格の改定が必要である。
- 工業に於いて、直接規制は主な節水政策手段である。
- 企業の節水対策は進んでおり、水の循環率は非常に高い。
- 工業生産高あたりの水使用量も先進国の水準に近づきつつある

以上の調査結果を踏まえて、この地域の水資源管理政策について、本研究で、工業用水における価格水準の妥当性を検証する。

3. 工業における水価格水準の検討

3.1 分析方法

水は他の財との代替性が低い財であるため、工業用水の価格上昇は経営に大きな影響を与える可能性もある。そこで、工業用水の適切な料金について検討が行われている。料金水準を検討する方法として、水 1 単位の利用が生み出した価値 (限界価値) と単位当たりの使用料 (限界費用) との差を比較する方法がある。完全競争状態では、限界価値と限界費用は一致する。そこで、推計した限界価値と実際の料金の乖離を調べれば、料金水準検討の手がかりとなる。

中国において工業用水の限界価値を計測した研究としては、Wang and Lall ³⁾ や Chen⁴⁾ がある。Wang and Lall は、1993 年に中国全土の 2000 件の工場のデータを用いて、トランスログ生産関数を用いて工業用水の限界価値を計測した。その結果、平均で、2.45 元/t の結果を得た。Chen は、1965 年から 1995 年の山西省における工業部門のデータをもとに、やはりトランスログ生産関数を用いて

工業用水の限界価値を推計した。その結果、工業用水の限界価値は 6.65 元/t であった。

ただし、回帰分析の結果は、外れ値や選択した回帰モデルの影響を受け、大きく変化する可能性もある。例えば、Wang and Lall は、産業別に工業用水の限界価値を計算したところ、電力業における工業用水の限界価値は 0.05 元/t、輸送機械製造業における工業用水の限界価値は 26.8 元/t と、実に 536 倍も違う値を得た。

一般均衡分析は、ある財の供給量が変化することによる、様々な財の量と価格への影響も検討することを目的としている。そこで、一般均衡分析では、社会会計表と呼ばれる資金循環表をまず作成する。すなわち、経済主体のそれぞれがどのような財・サービスや生産要素を取引しているかを把握することから始める。この社会会計表は基準均衡の経済を示している。この基準均衡を分析の基礎におく一般均衡分析は、回帰分析と同様に分析結果はモデルの影響を受けるが、回帰分析よりも外れ値の影響を抑えることができる可能性がある。したがって、回帰分析の結果と一般均衡分析の結果は、乖離することも考えられ、工業用水の料金水準に対して、既往研究とは異なる評価結果を得る可能性もある。そこで、本研究では一般均衡分析を用いて工業用水の限界費用を推計し、既往研究の結果と比較する。

3.2 一般均衡分析による工業用水価格の分析

3.2.1 データとパラメータの推計

分析に用いたデータを以下に記す。本研究では、統計資料の制約から、分析対象年次を 1995 年に設定した。まず、各業種の水の消費量、中間投入額、労賃、資本投資額、家計消費、政府消費、生産税以外の税に関するデータは、Chen が作成した 1995 年の山西省産業連関表を用いた。ただし、Chen の推計した産業連関表には、移出と輸出および移入と輸入は分かれていないため、本モデルでは明示的に輸出・輸入は扱っていない。企業の直接税は 1996 年版の山西省統計年鑑を用いて、1995 年値を用いた。

また、分析に際しては、28 部門を 7 部門（農業、鉱業、軽工業、電力・石油精製業、重化学工業・電子電機産業、建築業、その他工業およびサービス業）に統合した。なお、ここでは簡略化のため、サービス業に供給される水も工業用水の価格と同一であると仮定している。

山西省の地域内財と他地域財との間が不完全代替であるアーミントン仮定で定義する。代替性のパラメータは、Xie⁵⁾を参考に設定した。その他のパラメータはキャリブレーション方法で決まった。

3.2.2 分析結果

分析には、数値計算ソフトの GAMS を用いた。

分析の結果、工業用水の限界価値は約 3.5 元/t と推計された。山西省の省都である太原市における 1995 年の工業用水の単価は、1.3 元/t である。したがって、限界費用は限界価値の 37% に相当する。

また、1.3 元/t から 3.5 元/t へ利用料金の引き上げが、各業種にとってどの程度の負担になるかを検討した。具体的には、使用料金上昇分を現行の表流水使用量に乘じ、それを営業余剰で除して、負担の度合い（負担率）とした。負担率は以下の式により定義する。

$$\text{負担率} = (MV - MC) \times WQ / PS \quad (3.31)$$

ここに、MV は限界価値、MC は限界費用、WQ は水使用量、PS は営業余剰である。

ただし、ここでは、工業用水の価格上昇にともなう、上昇分の製品価格への転化、他の財への代替などは考慮していない。

計算した業種別の負担率は図 2.2 に示す。負担率は、電力・石油精製業が突出しており、追加的負担は営業余剰の 1.5 倍に達する。その他の産業は、営業余剰の額よりも追加的負担額の方が小さく、重化学および電機電子工業 32%、軽工業 26%と続く。したがって、リサイクル水の利用率を増やすことにも限界がある。工業用水料金の値上げは、電力業に特に大きな影響を与えることを示唆している。

山西省では、現在、工業用水の利用料金を引き上げている。今回の調査によって、約 3.3 元/に達した。現時点の価格水準が、適切かどうかを検討するためには、データを更新して検討する必要がある。



図 2.2 業種別負担率

5. 終わりに

5.1 本研究で得られた成果と知見

1) 現地調査により水資源状況政策などの把握を試みた。

深刻な水不足に直面し、様々な水資源施策が実施されている山西省の首都都市太原市を対象として、現地調査を行った。調査した結果、水供給政策において、絶対的な水資源不足のため、水環境の改善及びこれからの経済発展のため、黄河から導水する政策を実施している。高い導水コストのため、今後、水価格の再設定する必要がある。また、水利用政策において、厳しく用水制限政策を実施され、工業用水の循環率及び生産値あたりの用水量のレベルは高いであることが判った。

2) 経済モデルを用いて水資源政策について検証と評価を試みた。

山西省 1995 年の産業連関表をデータベースとして、小国開放一般均衡モデルを構築した。そのモデルを使って、工業用水の限界価値を求めて、実際の工業用水料金と比べた結果、工業用水価格水準が低いであることが判明した。但し、これは、1995 年のデータに基づいた分析で、現在の工業用水価格水準が妥当かどうかは新しいデータで検証する必要がある。

5.2 今後の課題

- 現地調査項目の詳細化、調査範囲の拡大。
- 調査により、現状を反映できるデータベースの整備と充実。
- 水供給量変化による社会経済影響
- 中日間比較により、中国水資源政策の評価。
- 汚水の再資源化問題の研究
- 水資源に優しい経済構造のあり方の研究

参考文献

- 1) 範堆相(2005)：山西省水資源評価,中国水利水電出版社,pp1 - 17.
- 2) 山西省統計局：山西省統計年鑑各年版, 中国統計出版社.
- 3) Wang H and Lall S: Valuing Water for Chinese Industries: A Marginal Productivity Assessment, World Bank Working Paper Series 2236, p.23, 1999.
- 4) Chen X.: Shanxi water resource input - occupancy - output table and its application in Shanxi Province of China, Paper for the thirteenth International Conference on Input-Output Techniques, 2002.
- 5) Jian X: Environmental policy analysis A general equilibrium approach, British Library

Appendix : 工業用水を中心に節水状況を調査した結果

企業名	西銘炭鉱（西山煤电株式会社）		山西水塔 集团八場	第2コークス工場（太原煤炭気化 集团有限责任公司）		太原重工	太原鉄鋼
性質	国営		郷鎮企業	国営		国営	国営
年生産値	4.32億元（西山煤电株式会社 は100億元）		今年1.2億 去年1.8億	9億元		18億（2003） 28億（2004） 40億（2005）	290億（2004）
従業員数	6000人 家族30000		1200人	650		8000	
年生産量	360万トン		10万トン	93万トン			460万トン
生産品価格	120元/トン			去年1000元/トン今年800元/トン			
取引先	70%以上省外輸出（北京）			北京首鋼		三峡	
生活用水量	ボイラ用水	1000トン/日		450トン/日			
	家族風呂	400トン/日					
	従業員風呂	300トン/日					
	その他生活用水	2500トン/日					
価格	1.49元/トン			2.45元/トン			
生産用水量	300トン/日		地下水： 7.8万トン	水道水	3000から4000トン/日	180万トン/年 (2001) 130万トン/ 年 (2005)	18万トン/日 (90年 代初) 8万トン/日 (2004)
				汚水処理水	1440トン/日	90～100万トン/年	13～14万トン/日
				循環使用量	102560トン/日	2370万トン/年	
価格	採掘に伴う湧く水なので 0		水資源費 だけ	水道水	1.3元(1998) 2.7 元(導水前) 3.3元 (現在)	4.5元/トン	3.3元/トン
水：総コストの占め率	0		7%	0.85%		低い、データなし	
汚水排出量	700トン/日		なし	生活污水だけ		40～50万トン/年	15万トン/日
汚水処理後 再利用	量	300トン/日	0	60*24		90～100万トン/年	13～14万トン/日
	用途	花とかの水遣り、道路用水		コークス洗う		清掃	冷却
	コスト	0.6元/トン		10元/トン		1.32元/トン	0.5元/トン
節水設備	国内先端的			国内先端的		国内先端的	国内先端的
万元生産値新鮮水用水量	2.53トン		6.5トン	12.1～16.2トン		3.25トン	10.1トン
トン生産品用水量	0.0304トン			1.9トン			9.63トン
注	生活の供水は一日一時間だけ、 ひどい時三日間に一時間だけ ある		生産は新 鮮水に依 存する、 政府の保 護政策で 価格低 い、	水の循環使用率95%以上で、節水 投資600万元でトンコークス用水 量は3.5トンから1.9トンまで減り ました。世界レベルの1.2トンま で減るには2億トンの投資が要る		水の循環使用率 92%以上である水 料金はコストの占 め率は低いので、 節水動機は用水定 額である。	水の循環使用率 95%

Study on Household Water Use Issues in North China

--Case Study of Taiyuan City, Shanxi Province--

Ji HAN, Hiroaki SHIRAKAWA, Hidefumi IMURA, Miao CHANG

Introduction

In recent years, household water use is gradually becoming the center in Chinese domestic water supply planning and management. But little is known about the household water use in contemporary China due to the transition of planned economy to market economy and enhancement of management on water conservation.

In order to well understand the characteristics of household water use in China, firstly an analytical model based on nationwide data was established and analyzed by using panel and cross-section data. Then Taiyuan City, the capital city of Shanxi province in North China was selected for case study. Both the analytical analysis and empirical investigation showed that China government achieved a good result in controlling household water use by implementing strict laws and regulations on water conservation. And through the investigation, first-hand information about water consumption pattern, water reusing/conservation, people's response to water quantity and quality, and etc. are obtained in Chinese context.

Analysis of statistical data related to household water use in China

Since 2000, China government has issued a series of laws and regulations on water resources and conservation, such as "Notice about the Elimination of Behindhand Products in Dwelling House", "Water Law of PRC (revised)" and etc. These laws/regulations requested that all the newly-built projects must install water-saving equipments such as non-cast-ion water faucet, water saving closet and etc.

Many studies have been conducted on household water use in developed countries. But most of them focused on water demand and consumption issues from the economic point of view. As a result, determinants such as water price, household income, life style were found to be the most important variables influencing household water demand (Nakazawa, 1991; Fernando et al., 2003).

In China case, because of strict regulations on water conservation, how will household water use change correspondingly? How is the relationship between household water use and those determinants suggested to be important in previous studies? In order to well understand the household water use in China, we setup the following analytical model for analysis.

$$\ln Q_{it} = \alpha_1 \ln Pop_{it} + \alpha_2 \ln Income_{it} + \alpha_3 \ln Wr_{it} + \alpha_4 \ln Wm_{it} + D_{it}$$

where Q is the annual domestic water use; Pop is the urban population with access to tap water; $Income$ is the urban annual per capita income; Wr is the annual water resources; Wm is the washing machines owned by every 100 households in urban; D is the regional dummy variables. The variable of water price is not included in this model because of the unavailable of

provincial data. And according to previous study, the effect of water price on household water demand was not obvious.

All the data are provincial data and taken from China Statistical Yearbook 2000-2005 and China Water Resource Bulletin 1999-2004. The observation number is 30 (Tibet is dropped due to data limitation). The model was analyzed with panel data by using fixed effect model and analyzed with cross-section data by using OLS methodology year by year. The results are listed in table 1. And the major finds are as follows.

Tab. 1 Estimates with panel data and cross-section data from 1999-2004

Variables		Panel data (Fixed-effect model)		Cross-section data (OLS methodology)					
		With <i>Wm</i>	Without <i>Wm</i>	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<i>Pop</i>	coefficient	0.57**	0.53**	1.00***	1.01***	1.04***	0.98***	0.97***	0.94***
	<i>t</i> statistic	2.54	2.46	18.03	18.64	17.58	16.63	16.58	14.80
<i>Income</i>	coefficient	0.23	0.27*	0.38*	0.54**	0.19	0.53**	0.77***	0.61**
	<i>t</i> statistic	1.65	1.98	1.77	2.34	0.86	2.71	2.98	2.50
<i>Wr</i>	coefficient	-0.07	-0.07	0.02	0.04	0.08**	0.07***	0.08**	0.07*
	<i>t</i> statistic	-1.52	-1.51	0.75	1.41	2.71	2.85	2.24	2.00
<i>Wm</i>	coefficient	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<i>t</i> statistic	0.67		-0.20	0.16	-0.62	0.25	-0.08	-0.21
<i>R</i> ²		0.67	1.00	0.95	0.96	0.95	0.96	0.95	0.94
Adjusted <i>R</i> ²		0.65	1.00	0.94	0.95	0.94	0.95	0.94	0.93

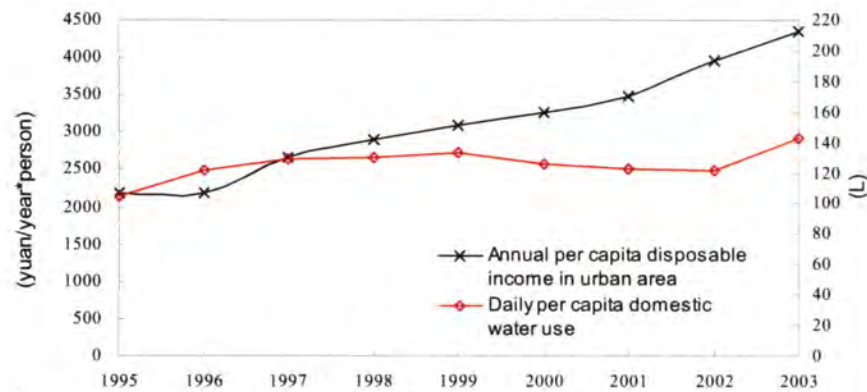
***Significant at 99% confidence; **Significant at 95% confidence; *Significant at 90% confidence.

- In each model, the variable of washing machine (*Wm*), which represents the life style, is statistically insignificant at 90%. The reason may be the small change of the number during the 6 years so that no significant responses are observed.
- In panel data analysis, population with access to tap water and income level has positive influence on household water use. But their elasticities are only 0.53 and 0.27 respectively. The reason may attribute to the success of strict regulations on water conservation.
- In cross-section data analysis of each year, household water use and population with access to tap water has a linear relationship. The coefficient of income is significant at different confidence except 2001. The maximum elasticity is 0.77 in 2003 and minimum is 0.38 in 1999. The result is consistent with previous studies (Shen Dajun et al., 1999). The variable of water resources becomes significant from 2001 because of water shortage and recognition of water conservation works especially from 2000. It is becoming a non-neglectable natural factor influencing household water use in China.

Case study of Taiyuan, North China

In order to validate the findings from analytical study, and to understand the detail about water using pattern, water conservation/reusing and etc. Taiyuan, the capital city of Shanxi province in North China was selected for empirical investigation. The reasons are not only because of its rapid economic development in recent years but also and more important because of its severe water shortage. The annual per capita disposable income in urban area of Taiyuan kept increasing form

1536 yuan in 1990 to 4354 yuan in 2003. While the daily per capita household water use kept increasing until 1990 and then decreased after 2000. (Fig.1)



The income was the constant price of 1990

Source: "Taiyuan Statistical Yearbook" (CSP, 1991-2004), "Shanxi Fifty Years" (CSP, 1999)

Fig.1 Per capita income and domestic water use in Taiyuan 1995-2003

One important reason may be the great efforts made by local government on water conservation. Since the 1980s, several strict regulations were put into effect on water saving. In 2002 Taiyuan was nominated as one of the top 10 water conservation cities in China. During the investigation, we conducted questionnaires on the local residents in September 2005 and totally 288 copies of valid questionnaires were collected. The major findings are as follows.

The average daily per capita household water use was 50.4L (Fig.2).

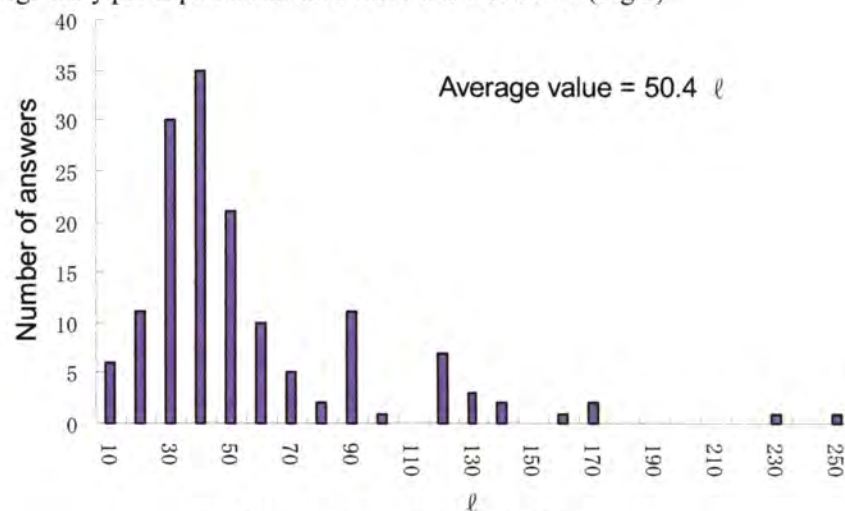


Fig.2 Daily per capita household water use

As for people's attitude toward water quantity and quality, household water use in 85% households kept nearly unchanged even if the water price increased in recent years (Tab. 2). And 68% of people thought the quality of tap water was just so so or unsatisfactory (Tab. 3).

Tab. 2 Household water use compared with last few years

Household water use compared with last few years	Increased	Decreased	Nearly no change
Percentage of answers	6%	9%	85%

Tab. 3 People's attitude toward tap water quality

Attitude for tap water quality	Satisfied	Relatively satisfied	Just so so	Relatively unsatisfied	Totally unsatisfied
Percentage of answers	3%	29%	50%	12%	6%

According to the result in Fig. 3, averagely 41% households reused the water after bath or shower for flushing toilet and averagely 36% households installed the water conservation equipments like water saving commode. The rate of reusing bath/shower water for flushing toilet in low-income families was relatively larger than high-income families. But it was reversed for using water conservation equipments in households.

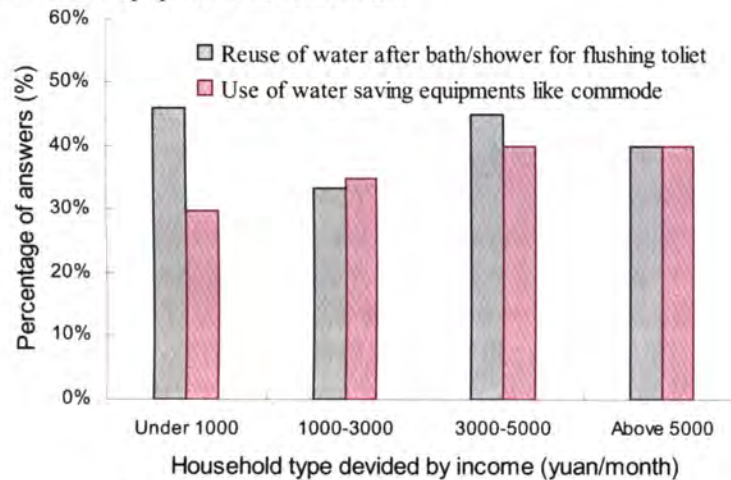


Fig. 3 Water conservation and reuse in Taiyuan

- The household water consumption level in Taiyuan City was only about 50 *L/person/day*. It may be caused by life style, people's effort in saving water and implementation of strict laws/regulations on water conservation.
- The water conservation measures have been widely practiced in different household types in Taiyuan. But the rate was below 40% now, there still has room for improvement.
- People in Taiyuan concerned more about water quality in their daily life when comparing with water quantity. So not only the water quantity but also the problem of water quality should be paid much attention in future.

References

- Fernando Arbués, Mar'ia Angeles Garc. (2003). Estimation of household water demand: a state-of-the-art review. *Journal of Socio-Economics* 32, 81–102.
- Nakazawa (1991) Study on water resource, Asakura Shoten, Tokyo (in Japanese).
- Shen dajun, Yang Xiaoliu, Wang Hao, Wang Dangxian, Ma Jing (1999). Analysis of urban household water demand functions in China (in Chinese). *Journal of Hydraulic Engineering*. 12, 6-10.
- National Bureau of Statistics of China (NBSC) (2000-2005). *China Statistical Yearbook*. (in Chinese).
- Shen dajun, Yang Xiaoliu, Wang Hao, Wang Dangxian, Ma Jing (1999). Analysis of urban residential water demand functions in China (in Chinese). *Journal of Hydraulic Engineering*. 12, 6-10.
- Vickers, A. (1991). The emerging demand-side era in water management. *Journal of American Water Works Association*, 83, 39–43.

黄土高原南部における蒸発散量の季節変化

*檜山 哲哉¹・藤波 初木¹・李 薇¹・西川 将典¹・高橋 厚裕²・樋口 篤志³・
福嶋 義宏²

1: 名古屋大学・地球水循環研究センター

2: 総合地球環境学研究所

3: 千葉大学・環境リモートセンシング研究センター

1. はじめに

半乾燥域での蒸発散量の推定は、飲料水や農業用水等の水資源評価にとって非常に重要である。黄土高原南部では小麦やリンゴ、トウモロコシ等の耕作が空間的にランダムな作付けで行われており、均一地表面を仮定した従来の熱収支モデルや比較的低高度で得られた風速・気温・湿度等の微気象データを用いた蒸発散量の推定には信頼性がない。そこで我々は、中国・黄土高原南部の長武試験地において 30m の観測タワーを設置し、水・熱輸送量の季節変動と年々変動を決定するための大気境界層観測を 2004 年 6 月から開始した。水・熱輸送量の計測は 30m タワーを用いて異なる 3 高度で行っているため、地表面状態の不均一性に起因した風上領域的に異なる蒸発散量が得られた。しかしながら、最も測定高度の高い 30m での計測であっても、風上側数 km の領域での蒸発散量しか得られず、空間代表性に問題が残った。そこで、大気境界層観測から得られた長武試験地周辺での蒸発散量とともに、客観解析データを用いた大気水収支法による数百 km スケールでの蒸発散量を求め、両者を比較し、両者の妥当性に関する考察を行った。

2. データと解析方法

2.1 長武試験地における蒸発散量の決定方法

中国・黄土高原南部の代表的な土地利用条件下として、長武試験地（中国科学院・水土保持研究所・長武黄土高原農業生態試験所；N35° 12′，E107° 40′）における蒸発散量を計算した。本試験地では、黄河プロジェクトの一環として 30m タワーを用いた地表面フラックスに関する大気境界層観測を、2004 年 6 月から開始している。本研究では、高さ 32m において超音波風速計により測定された鉛直風速と、同高度のオープンパス型 CO₂/H₂O ガス分析計により測定された水蒸気密度の乱流変動量の両データから、渦相関法により水蒸気輸送量を計算した。渦相関法の平均化時間は 30 分である。30 分毎に計算した潜熱輸送量を蒸発散量に換算し、その後、日蒸発散量(mm day⁻¹)を求めた。最終的には、10 日平均での日蒸発散量として、下記で大気水収支法により推定した蒸発散量と比較した。

2.2 大気水収支法による蒸発散量の推定方法

大気水収支法による蒸発散量の推定には、NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research) 客観解析データ (Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001) と、GPCP (Global Precipitation Climatology Project) による降水量データを用いた。対象とした領域は、緯度方向で N32.5° ~ N37.5°、経度方向で E105° ~ E110° (5° x 5° の領域) である。長武試験地はこの領域のほぼ中心に位置することになる。なお、NCEP/NCAR 客観解析データと GPCP 降水量データは、ともに 2.5° 毎にデータが公開されている。

大気水収支は、下記の(1)式により表される。

$$E = P + \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot Q \quad (1)$$

ここで、 E は蒸発散量、 P は降水量、 $\frac{\partial W}{\partial t}$ は可降水量の時間変化、 $\nabla \cdot Q$ は水蒸気の発散量である。 P にはGPCPのデータを利用した。可降水量は対象とする領域において、地上から上空300hPaまでの大気カラム内の総水蒸気量（鉛直積分値）とした。また、 Q は下記(2)式から算出した。

$$Q = \frac{1}{g} \int_{300hPa}^{P_s} q \cdot v dp \quad (2)$$

ここで g は重力加速度である。 $\nabla \cdot Q$ は対象とした領域（N32.5°～N37.5°・E105°～E110°）の東西南北の境界から流入する水蒸気フラックスとして、下記により算出した。

$$\nabla \cdot Q = [(Q_e - Q_w) + (Q_n - Q_s)] / S \quad (3)$$

ここで、 Q_e 、 Q_w 、 Q_s 、 Q_n は、それぞれ東西南北の境界面からの水蒸気流入量であり、 S は対象領域の面積（5° x 5°）である（図1）。

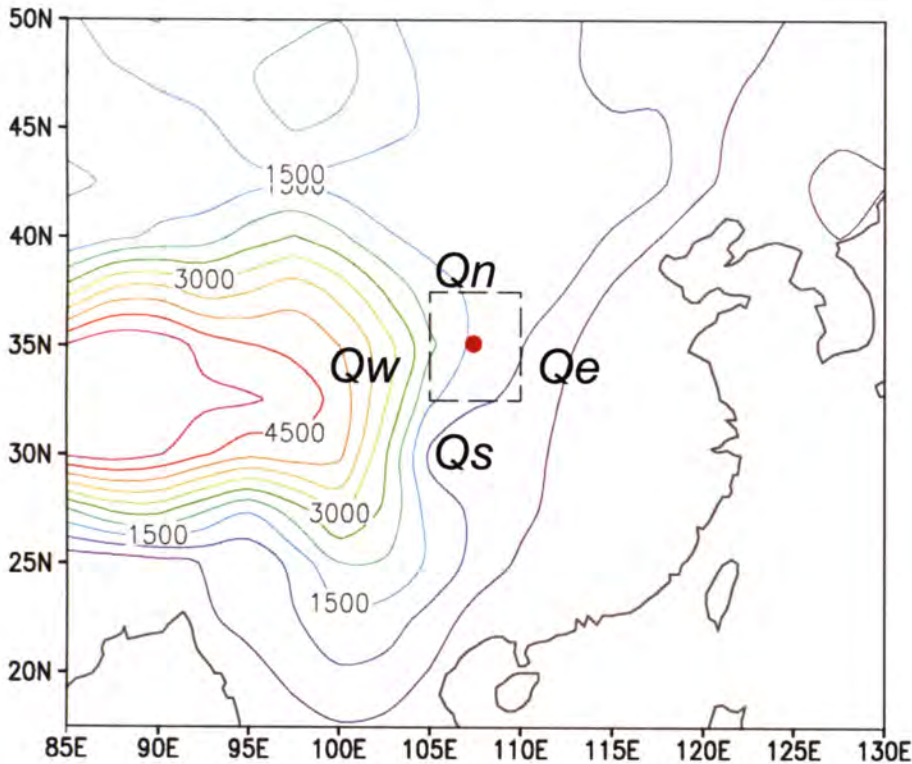


図1 大気水収支法による蒸発散量の推定の対象とした領域（点線で囲んだ領域）。赤丸は長武試験地を、等値線は標高（m）を示す。

3. 結果と考察

3.1 2004 年における蒸発散量の季節変化

長武における実測の蒸発散量と、大気水収支法で推定した黄土高原南部における蒸発散量の時系列での比較を、図 2 に示す。実測の蒸発散量は、観測を開始した 2004 年 6 月からのみ示されている。図 2 から明らかなように、大気水収支法で推定した蒸発散量は、その季節変化の傾向は実測の蒸発散量と同様の傾向を示しが、季節内の変動が大き過ぎる傾向にある。また、大気水収支法で推定された夏季～秋季の蒸発散量は、かなり過大評価である。これらの原因として、西方にチベット高原が存在することによって、NCEP/NCAR データから推定した水蒸気フラックス（収束・発散）に問題があるものと考えられる。したがって、大気水収支法を適用する際には、NCEP/NCAR データの使用は避けるべきであろう。今後は、ECMWF (European Climate Medium Weather Forecast) データを利用した同様の解析を行う必要があるだろう。

ちなみに、降水量データの妥当性を GPCP データと CMAP (Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation ; Xie and Arkin, 1997) とで比較した結果、図 1 の領域では、両者に大きな差異は無かった。

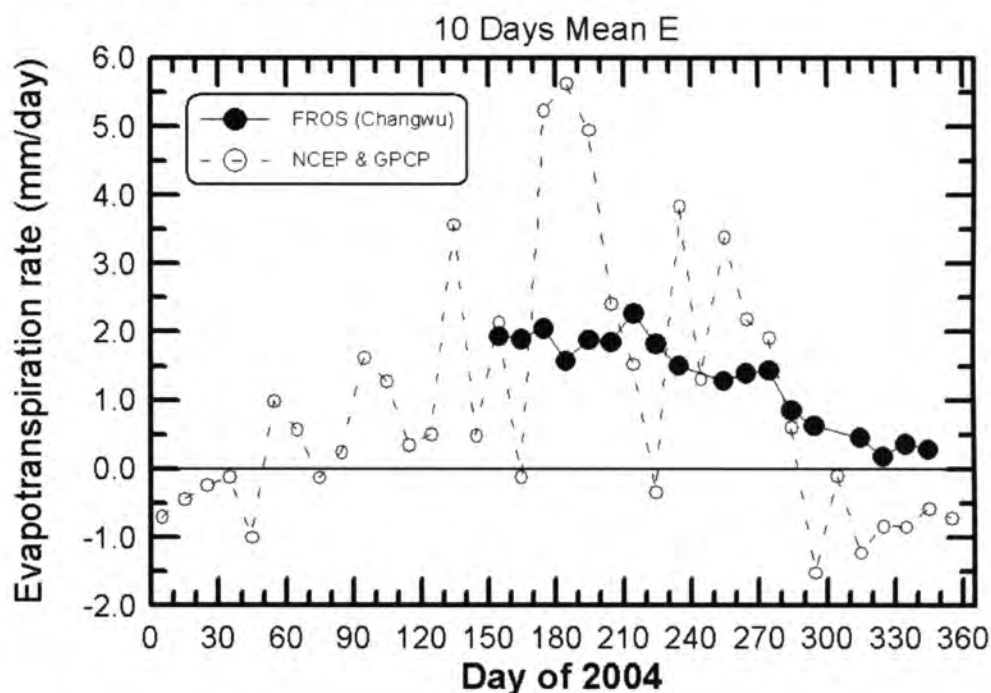


図 2 2004 年における蒸発散量の比較結果 (10 日間平均値)。黒丸 (FROS) は長武試験地で実際に測定された蒸発散量を、白丸 (NCEP & GPCP) は大気水収支法により推定された蒸発散量を、それぞれ示す。

3.2 黄土高原南部への水蒸気流入に関する気候学的特徴

参考のために、黄土高原南部への水蒸気流入に関する気候学的特徴を把握しておこう。ここでは、大気水収支法と同様に、NCEP/NCAR データを用いて東ユーラシアにおける水蒸気の水平輸送量を、気候値 (1979 年 ~ 2003 年の間の平均 : Climate shift 以降) と、2004 年の場合とに分けて、それぞれ 5 日間平均値として地図化した。

気候値 (1979 年 ~ 2003 年の平均) から得られた知見を要約すると、以下の 3 点が挙

げられる。

- ・ 7月5日～7月25日頃にかけて、黄土高原南部への水蒸気輸送が増加する。
- ・ 北方域からの水蒸気の流入は、基本的に希少である。
- ・ 水蒸気の起源は、ベンガル湾と南シナ海である。

大和田ら(2005)によれば、5月～7月におけるこの地域への水蒸気流入量の増加には、太平洋高気圧の中国内陸方向への張り出し方が関与している。

2004年の特徴としては、以下の4点が挙げられる。

- ・ 5月下旬～6月上旬には、ベンガル湾から水蒸気が流入していた。
- ・ 6月中旬には、北方域からも水蒸気が流入していた。
- ・ 7月20日～下旬にかけては、南シナ海起源の水蒸気が流入していた。この時期に、長武においては降水量が増加し、地表面が湿潤化した。
- ・ 上記期間以外には、水蒸気は基本的にベンガル湾から流入していた。

4. まとめ

NCEP/NCAR 客観解析データと、GPCP による降水量データを用いて大気水収支法により推定した黄土高原南部の蒸発散量は、季節変化の傾向としては、タワー観測からの蒸発散量と同様の傾向を示した。しかし、その変動は大き過ぎる傾向にあった。この原因として、NCEP/NCAR データの水蒸気フラックス（収束・発散）の問題が考えられた。

大気水収支法で推定された夏季～秋季の蒸発散量は、タワー観測からの蒸発散量よりも過大であった。今後は、NCEP/NCAR 客観解析データではなく、ECMWF データを利用した解析を行う必要がある。また、土壌水分量の実測に基づく貯留量変化の傾向を解析し、この地域の水収支の季節変化および年々変化の特徴を明らかにしていきたい。

参考文献

- 大和田春樹・大森博雄・松本淳(2005): 中国黄土高原の降雨季における気流系の季節変化について, 地理学評論, 78, 534 - 541.
- Kalnay et al. (1996): The NCEP / NCAR 40-year reanalysis project, Bull. Am. Meteorol. Soc., 77, 437 - 471.
- Kistler et al. (2001): The NCEP / NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation, Bull. Am. Meteorol. Soc., 82, 247 - 267.
- Xie, P., and P. A. Arkin (1997): Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical model outputs, Bull. Am. Meteorol. Soc., 78, 2539 - 2558.

中国・黄土高原南部において混合層発達時に観測された鉛直風の特徴

*西川 将典¹・檜山 哲哉¹・高橋 厚裕²・李 薇¹・樋口 篤志³・福嶋 義宏²

(1: 名大・地球水循環研究センター, 2: 総合地球環境学研究所,

3: 千葉大・環境リモートセンシング研究センター)

1. はじめに

ウィンドプロファイラレーダ (Wind Profiler Radar, 以下 WPR) を用い、地表面フラックス観測を併用した日中の対流混合層 (以下、混合層) に関する初期の研究成果は、主に北米の平坦かつ均一な地表面状態で、基本的には高気圧に覆われた総観気象場において得られている (Angevine et al., 1998)。しかし、これらの条件と異なった地表面状態や総観気象場における上記のような WPR を用いた混合層の観測は、現在あまり報告されていない。

このような背景から本研究グループは、2004 年 6 月から中国・黄土高原南部において大気境界層の観測を行っている。本観測は黄土高原特有の複雑な地形条件下で観測を行っていることや、黄土高原はユーラシア大陸の内陸部に位置し夏季に熱的低気圧が発達し易いこと等、混合層の発達に対する様々な影響が予想され、新たな知見が得られると期待される。本発表では 2005 年の春から夏にかけて黄土高原・長武試験地で行った集中観測のデータを基に、黄土高原における混合層の発達過程の特徴について報告する。

2. 観測とデータ

2.1 観測サイト

本観測は中国科学院・長武試験地の圃場 (35° 12'N, 107° 40'E, 標高 1200 m) において行っている。観測サイトは黄土高原の平坦な台地上に位置しており、時計回りに見て北西-東側には比較的平坦な地形が、東-北西側には険しい谷が広がっている (図 1)。観測サイト周辺には、冬小麦 (6 月下旬に収穫)、トウモロコシ (9 月下旬に収穫)、リンゴ畑が不規則に分布している。

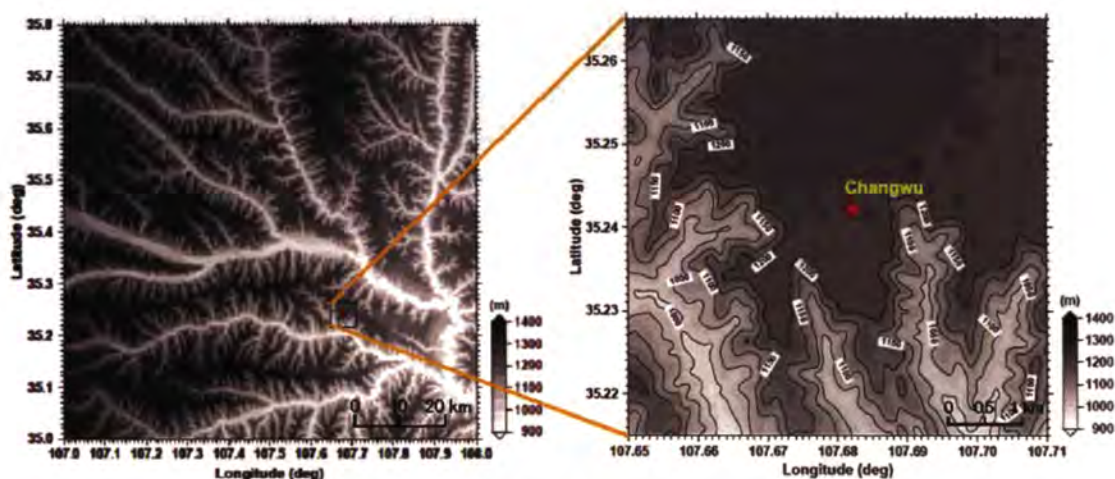


図 1 観測サイト周辺の地形*

2.2 観測の概要

混合層の観測は、1290MHz-WPR (L-28, 住友電工) を用いて行った。さらに、本年度から設置したマイクロ波放射計 (TP/WVP-3000, Radiometrics) を用いて、上空 10 km までの気温と水蒸気量の鉛直分布の測定を行った。また、地表面付近の乱流熱輸送量、放射量、及び気象データを得るために、陸面接地境界層観測システムから得られたデータを利用した。システムは、フラックスタワー (高さ 30 m)、地上部、地下部センサーから構成されている。本観測システムの利点は、WPR により上空の大気屈折率や 3 次元風速を、マイクロ波放射計により上空の気温と水蒸気量を連続的に観測できることである。観測条件が良い場合には、上空 8 km 程度までこれらデータの高時間・高鉛直分解能の鉛直プロファイルを取得可能である。

マニュアル観測を含む集中観測は、2005 年 5 月 11 日から 7 月 13 日にかけて行った。本報告では集中観測期間中の WPR の解析結果を主に報告する。

3. 結果及び考察

3.1 総観気象場の解析

64 日間の集中観測期間中、雨などの場合を除き計 46 日間で明瞭な混合層の発達を観測された。6 月 19 日 06UTC (北京時間 14 時) 850 hPa 面の NCEP/NCAR 再解析データのオメガ値の分布 (図 2) によると、観測サイト周辺ではオメガ値が約 -0.100 Pa/s と負であった。ここで、負のオメガ値は、上昇流場にあったことを意味している。図 2 に示した例と同様に、計 46 日間の明瞭な混合層の発達を観測された日における同時刻・同高度 (06UTC・850 hPa 面) のオメガ値は、すべて 0 Pa/s 以下と負の値を示していた。従って、観測サイト周辺は、日中、熱的低気圧が発達しており、基本的には上昇流場であったと考えられる。

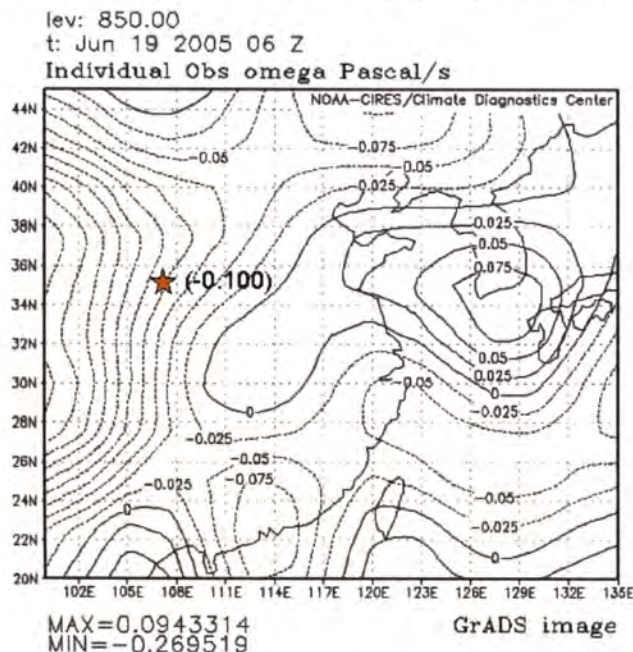


図 2 NCEP/NCAR 再解析データ 850 hPa 面のオメガ値の分布 (2005 年 6 月 19 日 06UTC)[†]

3.2 黄土高原における混合層の発達過程と鉛直風の特徴

明瞭な混合層の発達が観測された計 46 日間の中で、既存の研究 (混合層が発達後、徐々に衰退する事例) と類似しない黄土高原特有の混合層の発達が、計 6 日間観測された。6 月 19 日の事例をその代表として図 3 に示す。この日は日中風が弱く、顕熱が潜熱よりも卓越していた。混合層が昼過ぎに急速に高度 3000 m 程度まで発達し、午後にプリュームが数個観測された。プリューム内の上昇流の風速は大きく、最大 6.4 m/s であった。また、プリュームは高度 3000 m 以上まで達しているのもあり、一部は混合層上端を突き抜けていた。マイクロ波放射計により観測された 6 月 19 日の温位の鉛直分布 (図 4) は、地表面付近を除き高度 3000 m 位まで温位勾配が小さく、不安定な状態であった。黄土高原が夏季には基本的に熱的低気圧の発達により上昇流場となり、上空の温位勾配が小さくなり易いことが考えられる。また、前日の 6 月 18 日も 19 日と同様に高度 3000 m 程度まで混合層が発達していた。従って、高度 3000 m 程度まで温位勾配が小さいという観測事実は、residual layer (残余層) の影響も考慮しなければならないことを示している。つまり、プリュームは顕熱が大きいために発達し、上昇流場や residual layer の影響により温位勾配が小さい高度 3000 m 近くまで容易に上昇していく。しかし、プリュームが強く、高度 3000 m 上空の温位勾配もそれ程大きくないので、混合層高度を突き抜けてさらに上空までプリュームが達するということが、観測結果から推測できた。

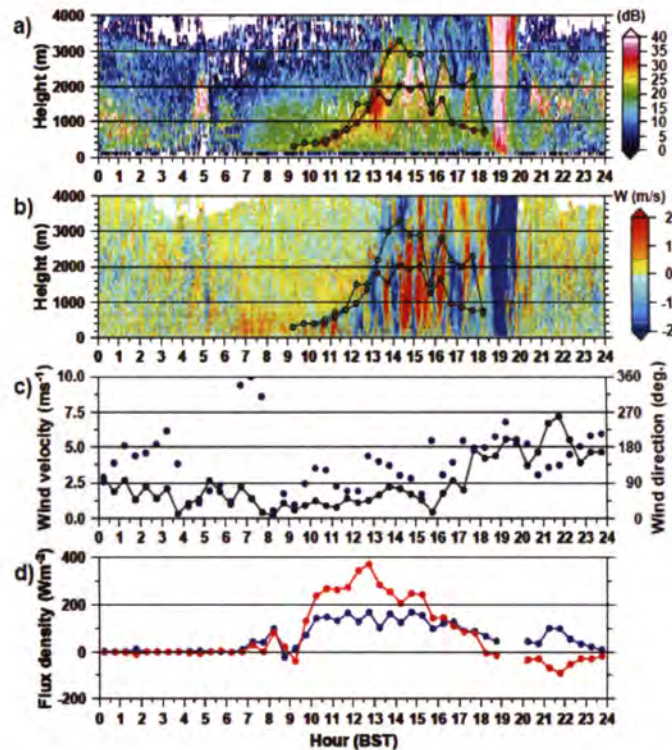


図3 WPRにより観測された a) エコー強度の高度時間断面図 (緑丸: 30 分平均のエコー強度の屈曲点から求めた混合層高度, 赤丸: median 法 (Angevine et al., 1994) により求めた混合層高度), b) 鉛直風速の高度時間断面図 (緑丸, 赤丸は a) と同じ), c) 高度 30 m における風速 (黒丸と実線), d) 風向 (青丸) の日変化, 高度 10 m における顕熱 (赤丸), 潜熱 (青丸) の日変化. (2005 年 6 月 19 日 (日の出 5:34, 日の入 20:07))

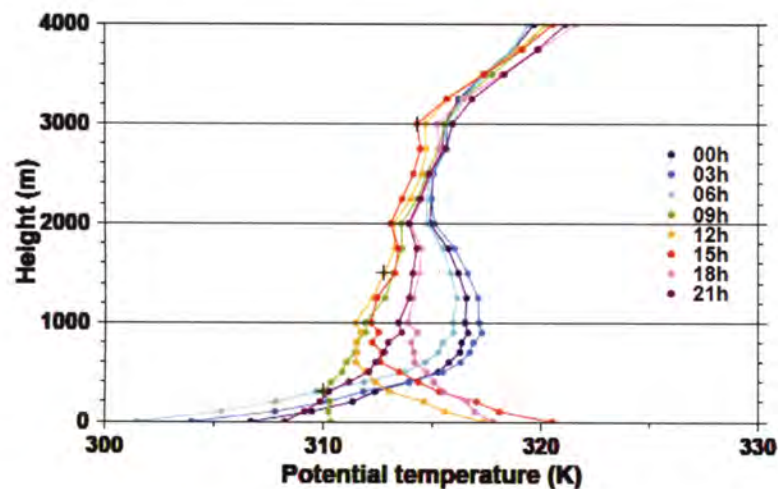


図4 マイクロ波放射計により観測された3時間毎の温位 (2005年6月19日)
(+印: エコー強度の屈曲点から求めた混合層高度)

4. まとめ

黄土高原特有の混合層の発達過程が、集中観測の観測結果の解析を通じて得られた。特に、混合層が昼過ぎに急速に発達し、その後午後にプリュームが発達するのが特徴である。プリュームは熱的低気圧場のもと、風が弱く、顕熱が大きい場合に観測された。日中風が強い場合や、地表面が湿潤な場合 (潜熱が卓越する場合) には、上記のような黄土高原特有の混合層の発達過程は観測されなかった。この場合、混合層の発達過程はむしろ既存の研究と類似していた。つまり、黄土高原特有の混合層の発達過程は、様々な条件が重なり合った結果、混合層と総観気象場及び陸面との相互作用の結果生じた特殊なケースであると結論付けられる。ただし、この混合層の発達過程は必ずしも黄土高原特有、という訳ではない。熱的低気圧場の条件下で、地表面が乾燥し、顕熱が大きいような条件下、例えば沙漠等の乾燥地や半乾燥地などでは同様に観測されると推測される。実際、中国の内陸部の沙漠で行われたライダー観測においても、混合層上端を突き抜けるようなプリュームの発達を示唆する結果が報告されている (Yasui et al., 2005)。

一連の解析を通じて、混合層の発達過程に対する地形の効果に関しては、観測結果のみから定量的な結果を導き出せなかった。黄土高原上の混合層の発達過程に対する地形の効果の大小を明らかにするためには、非静力学数値モデルを用いて、混合層の発達過程に関する再現実験を行う必要がある。

参考文献

*<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

†<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

Angevine et al. 1998: *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 419-431.

Angevine et al. 1994: *Bound.-Layer Meteor.*, **68**, 375-385.

Yasui et al. 2005: *J. Meteor. Soc. Japan*, **83A**, 149-171.

黄土高原南部における混合層発達過程の数値モデリングに関する考察

*高橋厚裕¹・檜山哲哉²・樋口篤志³・西川将典²・李薇²・福嶋義宏¹

1：総合地球環境学研究所

2：名古屋大学・地球水循環研究センター

3：千葉大学・環境リモートセンシング研究センター

1. はじめに

中国黄河中流域に広がる黄土高原では、熱的低気圧が発生しやすく、広域の大気場と相互作用をしながら、黄河流域の水循環に強く影響を及ぼしていると考えられている。この黄土高原には、地形的特徴として侵食谷が多く存在する。地面にこのような起伏が存在すると、大気場に波や循環が生じやすい。地形が局地循環に影響することの事例としては、山岳地における研究例において、谷の内部で発達した循環流の上方に雲が生成されるなどの報告がある。黄土高原の侵食谷は、山岳地に比べると小さい規模であるが、台地上よりも谷上に雲がよく発生することが目視により確認されている。このことから、侵食谷は小規模ではあるが局地的な大気混合やそれに伴う雲の生成に影響を及ぼしていると考えられる。一方で、黄土高原は半乾燥気候であることから、乾燥した空気が暖められることで浮力が発達しやすく、大気境界層の形成に影響していると考えられる。また観測からは、混合層が発達する前の時間帯に地面付近から高度 1000m 付近の間に上昇流が頻繁に観測されている。そこで本研究では、谷地形がある場合に、浮力が風速場にどのように影響するのかを調べる目的で、鉛直 2 次元数値モデルを構築し、簡単な数値計算を行った。

2. 数値モデルの概要

本研究では流体運動の計算方法として格子ボルツマン法を用いた。流体計算によく用いられる手法としては、流体の速度や圧力等の巨視的変数とする流体力学方程式（ナビエーストークス式）による方法や、分子動力学による粒子法があるが、これに対し格子ボルツマン法はその中間タイプの手法といえる。その基礎式は次のように表される。

$$(\partial_t + \mathbf{e} \cdot \nabla_r) f(\mathbf{r}, \mathbf{e}, t) = [\partial_t f(\mathbf{r}, \mathbf{e}, t)]_{\text{coll}} \quad (1)$$

f は位置 \mathbf{r} 、時刻 t における速度 \mathbf{e} の粒子の分布関数を表す。左辺は f の時間変化と粒子の並進運動による f の変化を表し、右辺は粒子の衝突による f の変化を表す。実際の計算では、上式を離散化した次式を用いる。

$$f_i(\mathbf{r} + \mathbf{e}_i \Delta t, t + \Delta t) - f_i(\mathbf{r}, t) = - \frac{f_i(\mathbf{r}, t) - f_i^{\text{eq}}(\mathbf{r}, t)}{\tau} \quad (2)$$

f_i は離散化された分布関数、 i は離散変数 ($i = 1, 2, \dots, 9$)、 f_i^{eq} は平衡状態における分布関数であり、Gaussian 分布であると仮定する。 τ は衝突に伴う緩和時間を表し、計算時間間隔とレイノルズ数に依存する。 f_i^{eq} については、一般に用いられている、Gaussian 分布関数を Chapman-Enskog 展開した関数を用い (He et al., 2003 など)、温度の平衡分布関数については、He et al. (1998) が提案した関数を用いた。 f_i を計算することにより、流体の密度 ρ 、速度 \mathbf{u} などの巨視的物理量は次のように導かれる。

$$\rho = \sum_i f_i, \quad \rho \mathbf{u} = \sum_i f_i \cdot \mathbf{e}_i \quad (3)$$

3. 計算条件

計算領域は鉛直 2 次元である。地表面に傾き 45 度の斜面を持つ谷を設定した。吹走方向の長さは 640m、鉛直方向の高さは谷底部から 320m とした。時間間隔は 0.1s とし、格子間隔は水平・鉛直の両方向とも等間隔に 10m とした。境界条件については、上部境界は一定風速とし、下部境界における風速はゼロとした。側面境界については、風の入口側を一定風速とし、出口側で風速傾度をゼロとした。今回の解析では、上部境界と側面入口側境界の水平風速の大きさが 0.001 ms^{-1} 、 0.01 ms^{-1} 、 0.1 ms^{-1} の 3 通りの場合について計算した。またいずれの場合もレイノルズ数は 1000 とした。地面から大気には一様に 100 Wm^{-2} の顕熱を与えた。なお、本研究では乾燥空気とし、水蒸気の効果は考えない。

4. 結果と考察

計算結果を図1に示す。図は初期条件から計算を始めて5分後の結果である。(a), (b)は風速が 0.001ms^{-1} の場合の結果である。図1(b)のように、斜面に沿って上昇流が起こっている。このように、地面からの顕熱によって暖められ浮力を得た空気は、平地よりも斜面において上昇流を起こしやすく、 0.01ms^{-1} 以上の上昇流の高さは200m付近に達する。谷内部と谷上方では下降流の領域が広い。これは、斜面での上昇流に伴い、谷上方から谷内部への空気の巻き込みによるものである。また、水平方向の風については、風下側斜面の上昇流の部分を除けば、谷内部と谷周辺において風向が主風向とは逆向きになっている。これは、風上側斜面における上昇流と、上方から谷内部への空気の巻き込みによって引き起こされた循環流による逆風域である。この状態よりも少し風が強くなった $u = 0.01\text{ms}^{-1}$ の状態(図1(c), (d))では、(d)のように下降流の領域が風下側に流れ、風上側の上昇流の領域が広がっている。またこのときの水平風を見ると、(c)のように、谷内部とその近傍においてのみ逆風域となり、その領域の面積は $u = 0.001\text{ms}^{-1}$ の場合に比べて狭くなっている。これは、風速が強くなったことで、谷部における上昇・下降の循環流が下方に抑え込まれたことによる。さらに水平風速が強くなった $u = 0.1\text{ms}^{-1}$ の状態では、下降流域はさらに抑え込まれ(図1(f))、領域の大部分が上昇域となる。このときの上昇速度は、領域が広がった分、小さくなった。また水平風速はほとんどの領域で主風向と同方向であるが、谷内部では逆風であった((e))。

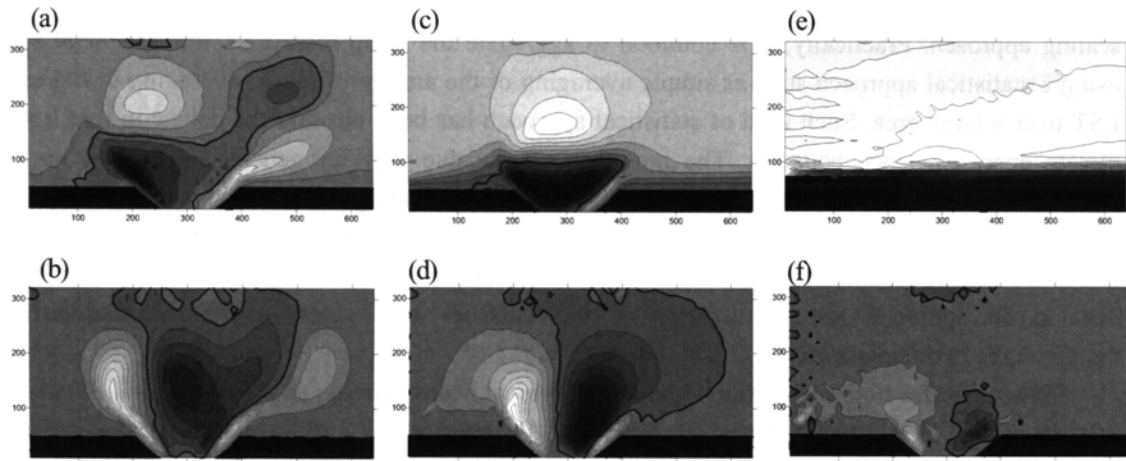


図1. 谷地形上を吹く風速の計算結果。縦・横軸は距離を表す(単位:m)。風向は左から右の方向。(a)(b)は $u=0.001\text{ms}^{-1}$ 、(c)(d)は $u=0.01\text{ms}^{-1}$ 、(e)(f)は $u=0.1\text{ms}^{-1}$ を表し、上段の図は水平風速を、下段の図は鉛直風速を表す。図中、明部は正方向(水平風速は右向き、鉛直風速は上向き)の風を表し、暗部は負方向(水平風速は左向き、鉛直風速は下向き)の風を現す。太線は風速ゼロの線を表す。

5. まとめ

谷地形がある場合に浮力がどのように風場に影響するかを、水平風速の大きさが 0.001ms^{-1} , 0.01ms^{-1} , 0.1ms^{-1} の3通りの場合について、数値計算を用いて調べた。その結果、地表面において浮力を得た空気塊は斜面において上昇しやすいことが示された。また、風速が大きくなるとともに、谷上方に現れていた下降流の領域が狭くなった。上昇流は風速が非常に小さいときは斜面上方の狭い領域に限られるが、風速が大きくなるとともに領域は広くなり、上昇速度は小さくなった。したがって、風速が非常に小さいときは谷部の狭い領域に上昇・下降域が現れるが、風速が大きくなるとともにその領域は広がり、多くを上昇域が占めるようになる。このように、谷があることで局地的に上昇流が生じやすいが、風が吹くとそれを水平方向にならす効果があることが示された。

今後は、さらに風速が強い乱流の状態において、地形と浮力、風速場がどのように相互に影響するかを調べるとともに、領域スケールにおける、物質循環も含めた大気-地表面相互作用を調べていきたい。

参考文献

He et al. (1998): A novel thermal model for the lattice Boltzmann method in incompressible limit, J. Comp. Phys., 146, 282-300.

Upscaling of Land Surface Temperature over the Changwu Area of China

地表面温度に対する空間スケールリング手法の提案と中国・黄土高原南部への応用

*劉 元波¹・檜山 哲哉²

1: 名古屋大学・大学院環境学研究科

2: 名古屋大学・地球水循環研究センター

1. Introduction

Land surface temperature (LST) is the skin temperature of the Earth's surface. As an important factor controlling most physical, chemical, and biological processes of the Earth system, its accurate representation at a large-scale is of great concern in numerous environmental studies. The representation is complicated by the heterogeneous land surface. Within a satellite sensor's instantaneous field of view (IFOV) (e.g. 1-km), there often exist a number of land covers such as forest, grassland, bare soil, and buildings. The effects of spatial heterogeneity can be released by scaling approach. Practically, it is common to aggregate the small-scale LST into the large scale using a statistical approach such as simple averaging or the areally weighted averaging to represent LST over a large area. Such kind of statistical approach has been put into the debate in that it may violate energy balance equation. The nonlinear effects due to heterogeneity might also lead to significantly different representation of LST. Surface heterogeneity involves not only the composition heterogeneity such as different land covers but also topographical heterogeneity. Lipton and Ward (1997) assumed the linearity in the Planck function and the unity of surface emissivity to develop an approach for investigation of the satellite-view biases in the retrieved surface temperatures in mountain areas.

To account for both composition and topographical heterogeneity, an approach for LST scaling was developed in this paper, based on the Stefan-Boltzmann law and terrain correction approach used in remote sensing as well. It was further modified oriented to satellite-derived LST. A terrain area over the Loess Plateau of China was selected for examination. In addition, this study took the advantages of MODIS and ASTER sensors onboard the TERRA. ASTER was designed to collect data for geological and environmental applications and provide a good sampling of the multi-spectral thermal infrared (TIR) spectral emissivity variations at a fine spatial resolution. MODIS was designed to collect data at a moderate spatial resolution with almost daily coverage of the Earth. The simultaneous observations eliminate the differences in ASTER and MODIS LST products due to time difference.

2. Methodology

The radiant emittance from an object into the hemisphere follows the Stefan-Boltzmann (S-B) law (e.g., Slater 1980)

$$M = \varepsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

where M is the radiant emittance (Wm^{-2}), σ is the S-B constant ($5.67 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), and T is the LST (K), and ε is the surface emissivity. This equation is generally applicable to the homogeneous case.

To the heterogeneous area composed of a number of surface objects, applying the S-B law needs incorporation of the local details. At an ideal fine scale (F-scale), a regular grid spacing or

pixel with an equal size may represent a homogenous surface such that it satisfies the S-B law. At a coarse scale (C-scale), a grid spacing or pixel usually denotes a heterogeneous surface. In a physical sense, heterogeneity is closely related to the specific object or process. M , T , and ε were set to be the parameters in equation (1) at the C-scale, and M_i , T_i , and ε_i the parameters at the F-scale where the subscript i denotes pixel i . Over a horizontal flat area, the irradiance at the C-scale is the areal average of the irradiance from all the nested F-scale grid spacings in terms of energy balance. From equation (1), the following equation can be derived

$$T = \left(\frac{1}{n\varepsilon} \sum_{i=1}^{i=n} \varepsilon_i T_i^4 \right)^{1/4} \quad (2)$$

Over a terrain area, for simplification the Lambertian surface is assumed within the regular grid spacing. As each terrain element has its own slope and aspect, the radiance along satellite-view path from the terrain element at the C-scale grid spacing is the average radiance from the nested F-resolution grid spacings, weighted by $\sec \alpha_i / \sum \sec \alpha_i$, where α is the local slope angle. It has

$$T = \left(\frac{\sum \varepsilon_i T_i^4 \cos \gamma_i \sec \alpha_i}{\varepsilon \cos \gamma \sum \sec \alpha_i} \right)^{1/4} \quad (3)$$

where γ is the angle between the satellite-view path and the normal to the terrain element.

In the case of satellite-derived data, there often remains terrain effect uncorrected. Terrain induced angular effect can be corrected using the cosine method (Teillet et al. 1982). The following equation can be derived

$$T = \left(\frac{\sum \varepsilon_i T_i^4 \sec \alpha_i}{\varepsilon \cos \gamma \sum \sec \alpha_i} \right)^{1/4} \quad (4)$$

In addition, there may remain more or less adjacency effect uncorrected in the satellite-derived data over the terrain area. The effect can be accounted for by the terrain-view factor with a trigonometric function (Kondratyev, 1969). A scaling function for LST with correction for both terrain induced angular and adjacency effects can be derived as

$$T = \left(\frac{2 \sum \varepsilon_i T_i^4 \sec \alpha_i - \pi \bar{L} \sum (\sec \alpha_i - 1) \cos \gamma_i}{2 \varepsilon \cos \gamma \sum \sec \alpha_i} \right)^{1/4} \quad (5)$$

In general, equation (3) can be used for LST scaling over the terrain area while equations (4) and (5) oriented to satellite-derived LST with the terrain and adjacency effects uncorrected.

3. Study materials & data processing

The study area is located at the Loess Plateau of China, which belongs to the semi-arid climate zone. The dominant land covers include agricultural field, grassland, bare soil surface, forestland, and inland water surface. This area has the highly variable topographical features suffering from serious soil erosion in the plateau. The elevation of the area ranges from 819 to 1464 m with an average of 1172.2 m. The mean of slope is 10.9 degrees with a standard deviation (S.D.) of 8.4 degrees, and the maximum slope is 37.5 degrees.

ASTER surface emissivity and surface temperature products, dated on 10 May 2005, were acquired. They have a spatial resolution of 90-m and served as the F-scale data in this study. Figure

1 shows the ASTER LST image. MODIS MOD11_L2 LST data, covering the study area, dated also on 10 May 2005, was also acquired. The LST data have a spatial resolution of 1-km and served as the C-scale data. The scattered white pixels were flagged in the MODIS LST products.

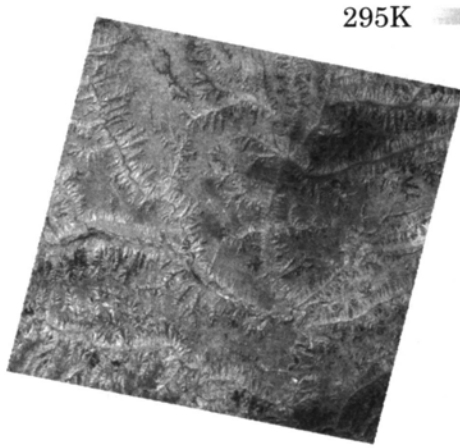


Fig.1. ASTER LST image dated on 10 May 2005.

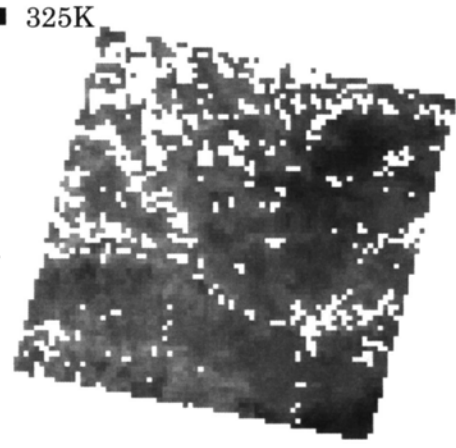


Fig.2. MODIS LST image coverage.

90-m slope angle and aspect angle of the terrain area were generated from 90-m DEM data, which was segmented from the 3-arc-second Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data. 900-m DEM data was generated from the 90-m DEM data resampled with the cubic convolution algorithm. The 900-m slope angle and aspect angle was then determined.

ASTER LST data were scaled from 90-meter to 900-meter using equation (5). For comparison, the Lipton and Ward (L-W) approach (1997) was also adopted here from the perspective of spatial scaling, although originally it was not developed for scaling propose but for addressing the satellite-view biases in retrieved LST in mountain area. The equation for LST scaling can be described as follows

$$T = \frac{\sum T_i \cos \gamma_i \sec \alpha_i}{\sum \cos \gamma_i \sec \alpha_i} \quad (6)$$

4. Results & discussions

Table 1 shows the statistical properties of the original 90-m ASTER product. The LST had a range of 34.4K, indicating a large LST variation over the study area. The original MODIS product had the LST range (14.7K) and S.D. (2.59K) smaller than that of ASTER, indicating the reduced LST variations at the relatively large-scale. The mean of MODIS LST was lower than that of ASTER. To the same area, the means of the LST from different sensor are expected to be the same, but this is not the case. It was unclear why the mean of MODIS LST was lower than that of ASTER.

Table 1. Statistics of LST products and the scaled LST (Unit: K)

	ASTER	Scaled LST		MODIS LST	
	LST	L-W approach	Equation (12)	Original	Corrected
Min	296.0	296.9	300.9	300.7	301.0
Max	330.4	327.8	319.9	315.4	315.6
Range	34.4	30.9	19.0	14.7	14.6
Mean	311.8	311.6	311.7	309.4	309.5
S.D	3.95	4.19	3.22	2.59	2.59

The LST image scaled from the L-W approach is shown in Fig.3(a). The mean of the scaled LST was similar to that of the original ASTER LST. Compared to the original ASTER LST, the minimum increased minor to 296.9K while the maximum decreased to 327.8K, resulting in the reduced range of 30.9K. In contrast, S.D did not reduce but increased to 4.19K, suggesting the increased variation in the scaled LST. This contradicted to the reduction in LST at the large-scale, which gained from comparison of MODIS and ASTER LST, indicating the inappropriate of the L-W approach. The inappropriate was further proved from the visual interpretation that the scaled LST image (Fig.3(a)) did not match the MODIS LST (Fig.3(c)) well.

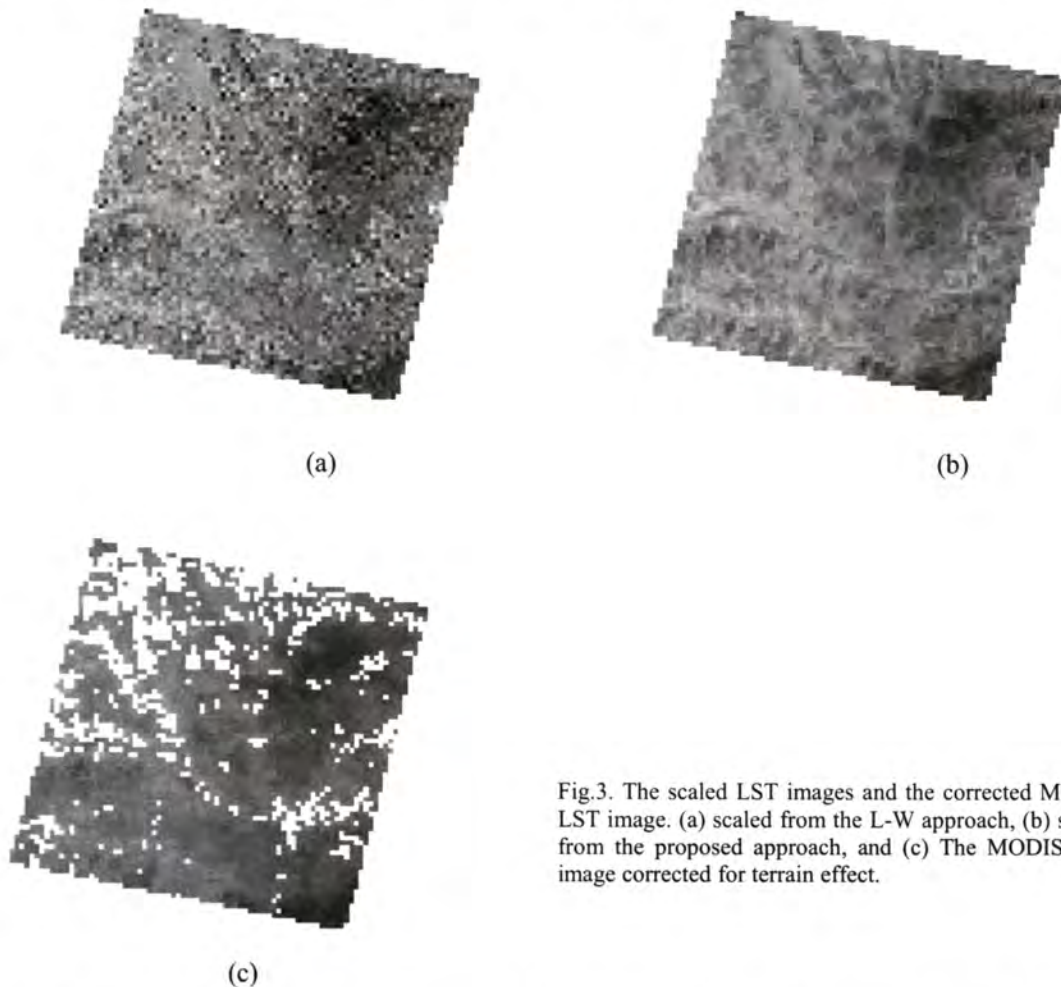


Fig.3. The scaled LST images and the corrected MODIS LST image. (a) scaled from the L-W approach, (b) scaled from the proposed approach, and (c) The MODIS LST image corrected for terrain effect.

In the proposed approach, the minimum LST was similar to that of MODIS. The maximum LST was much closer to that of MODIS, compared to that from the L-W approach. This resulted in the reduced LST range, also much closer to that of MODIS. Accompanying to this change, S.D decreased, indicating the reduced variation in the scaled LST. The visual interpretation suggested that the scaled LST image (Fig.3(b)) was pretty well matched the MODIS LST (Fig.3(c)), compared to that scaled from the L-W approach (Fig.3(a)). In addition, the correlation coefficient between the MODIS LST and the scaled LST was 0.75, higher than 0.57 that between the MODIS and that scaled from the L-W approach.

Notably, although the LST scaled from the proposed approach was closer to that of MODIS than that the L-W approach did, its statistical values (maximum, the mean, and S. D.) were yet generally larger or higher than that of MODIS. The maximum LST showed 4.3K difference compared to that of MODIS. The mean of the scaled LST was similar to that of the original ASTER LST, but 2.2K higher than that of MODIS. S. D. had the difference 0.63K to that of MODIS LST. A

potential explanation to this unclear difference is that, the LSTs retrieved from ASTER and MODIS may be inconsistent. It is necessary to make investigations on the consistency between the ASTER and MODIS LST product.

5. Conclusions

To account for both composition and topographical heterogeneity, an approach for LST scaling was developed, based on the Stefan-Boltzmann law and terrain correction approach used in remote sensing as well. To release the terrain effects resident in satellite product, the proposed approach was further modified oriented to satellite-derived LST.

A terrain area over the Loss Plateau of China was selected for examination. The Lipton-Ward (L-W) approach was also adopted in the examination from the perspective of scaling. Incorporated with 90-m topographical data, 90-m ASTER LST and emissivity products were scaled up to 900-m using the two approaches. Results showed that the proposed approach smoothed the LST difference and reduced the standard deviation of LST but the L-W approach did not. This was further confirmed from the visual comparison with 900-m MODIS LST products.

ACKNOWLEDGEMENT

This work is sponsored by a grant from the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan, "Dynamics of the Sun-Earth-Life Interactive System, No.G-4, the 21st Century COE Program". ASTER and MODIS images were obtained from EOS Data Gateway at <http://redhook.gsfc.nasa.gov>. SRTM data was downloaded at <http://seamless.usgs.gov/>.

REFERENCES

- Kondratyev, K., Y., *Radiation in the Atmosphere*, Academic Press, London, 1969.
- Lipton, A. E., & Ward, J. M., "Satellite-view biases in retrieved surface temperatures in mountain areas", *Remote Sensing of Environment*, **60**, pp. 92-100, 1997.
- Slater, N. P., *Remote Sensing: Optics and Optical Systems*, Addison-Wesley Publishers, London, 1980.
- Teillet, P. M., Guindon, B., & Goodeonugh, D. G., "On the slope-aspect correction of multispectral scanner data", *Canadian Journal of Remote Sensing*, **8**, pp. 84-106, 1982.

FROS で観測された長武試験地における麦の分光放射特性と 水・熱・CO₂ フラックスの季節変化

*樋口 篤志¹・檜山 哲哉²・高橋 厚裕³・西川 将典²・李 薇²・福嶋 義宏³

1: 千葉大学・環境リモートセンシング研究センター

2: 名古屋大学・地球水循環研究センター

3: 総合地球環境学研究所

1. はじめに

衛星リモートセンシング技術による植生モニタリングにおいては in-situ での詳細な観測事例の積み重ねは活性度等のアルゴリズム開発・検証において極めて重要である。さらに近年では MODIS, GLI, GLI 後継センサー (AGLI) 等光学センサーの多波長化 (multi-spectral) が推進・企画されており、それらの動きと連動して国内でも多波長分光放射特性を植生モニタリングの観測要素の一つとして取り組む動き (例えば PEN [Phenological Eyes Network; http://pen.agbi.tsukuba.ac.jp/~info/index_j.html]) が出てきている。本報告では黄河プロジェクト大気境界層班の観測の一環として組み込まれた FROS (Flux & Radiation Observation System) 内の構成要素であり、衛星検証のハイライトでもある分光放射計測システムの設置後の経緯、および計測された麦の分光放射特性について記載し、最後に簡単に今後の課題について触れる。

2. FROS データ収録システムの改変

FROS は他の計測機群と併せ 2004 年 5 月に設置された¹。そのうち、分光放射特性に関しては英弘精機制作の分光放射計 (MS-700) を採用しており (図 1 左ブリード社でもほぼ同様の仕様の放射計を作成しているが、内部温度制御の方法の違い [前者はペルチェ素子を使うが後者は温度計・ファンによる制御] に基づき前者を採用した)、データ収録方法に関しては、元々は PC によるシリアル通信であるが、汎用データロガーを用いて他の観測要素 (微気象要素・乱流データ) 取得と統一してデータ収録が行えるよう、データ収録方法をクリマテックと共に開発した (図 1 右)。



図 1 (左) 長武試験地に設置した分光放射計 (MS-700), (右) FROS データ収録システムのうち、分光放射データ処理を行う Campbell Sci. Inc. 社製 CR-21X (右) およびシリアル入力切り替え器 (CR-23X の下に設置)。

¹ <http://higu.cr.chiba-u.jp/~higu/projects/YRiS-may-2004/>

しかし、乱流データ取得と本質的に異なり、異なる要素のデータが一気に送られてくるためバッファオーバーフローを起こす（上向き下向きほぼ同じ値を収録する）問題が発生し、分光放射計のテストサイトである（同一システムが運用されている）筑波大陸域環境研究センターにて logging program の version up を試行錯誤的に繰り返し、ロガーデータ取得方法を 10 分平均ではなく、5 分サンプリングとすることによって安定稼働するようになった。プログラム変更は 2004 年 12 月に行われ、その後安定したデータ取得が可能となった。その一例として、本システムは停電復旧後自動復旧するようになっているが、PC によるデータ取得ではこのような設定は難しい。実際 2005 年 10 月までのデータでは 9 回の復旧記録がデータの中に含まれているが、それ以外ではほぼ連続したデータが取得されている。遠隔地における観測ではデータの quality と共に無人でも安定して稼働することが最も重要な要素であるが、データ収録のみで考えれば一連の version up により、その点は他のある種枯れた微気象計測とほぼ同じ安定度となったと言えるだろう。

3. FROS 分光放射計で得られた麦の分光放射特性の季節変化

図 2 に 2005 年の麦の分光放射特性の季節変化 (Time Spectral-Reflectance Section) を示す。縦軸は Day of Year (DOY; 通年積算日数)、横軸は channel 数 (256 channels) である。Channel 数で 140 付近が可視と近赤外の境界($0.7\mu\text{m}$)である。一見して分かるように近赤外で反射率が高く、麦の生長に伴い、まずは可視域の反射率が減少し、近赤外の反射率は 130-145 DOY でピークを迎える。150DOY 以降 170DOY までに反射率のシフト（いわゆるレッドエッジのブルーシフト）が麦の収穫期に向けて本システムで連続して計測されていることが分かる。これは集中観測期間中撮影したデジカメによる試験地の写真とも一致する。

4. 今後の課題

ようやく連続して分光放射特性が計測可能となった。今後の課題としては以下の点が挙げられる：

- 他の計測項目との比較および現象についての取りまとめ。
 - これは集中観測期間中、様々な要素を手動で計測していたこともあり、早急に取りまとめ論文化する必要がある。
- 放射計の検定の問題：一度長武試験地に設置した放射計を持ち帰り検定に出すことは非常に難しいと思われる。
 - 上述した筑波大陸域環境研究センターに設置した分光放射計を近日（2005 年度内）メーカー検定（2.5 年使用）に出す予定である。その際にどの程度初期状態からズレているのか確認することによって、長武試験地に設置した放射計のズレの程度をある程度把握することは可能であると思われる。

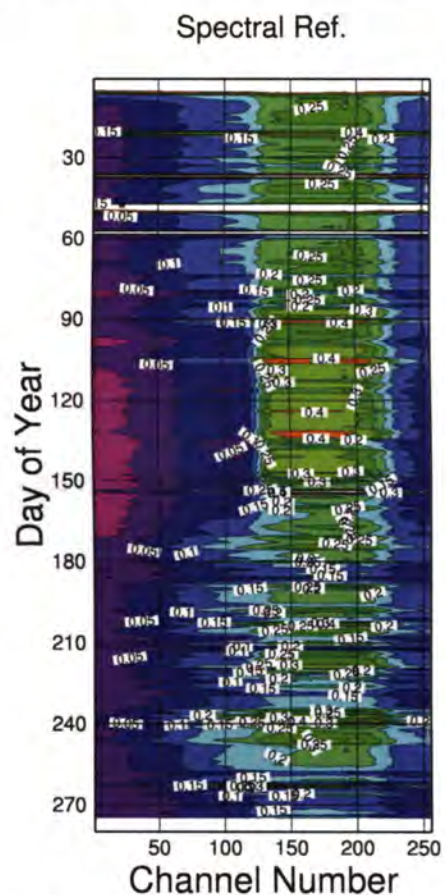


図 2 長武試験地で計測され 2005 年での分光反射特性。

黄河流域の大型灌区の農業と水利用

総合地球環境学研究所 渡邊紹裕, 星川圭介, 窪田順平

1. はじめに

黄河流域の利用可能な水資源年間約 400 億 m^3 の約 80% は農業用水として利用され, その多くは農地からの蒸発散によって消費される. 一部は, 土壌や水路を経由して地下水となり, あるいは河川に流出して, 黄河に還元されることもある. しかし, この流域全体としての構造は, 農地や灌漑地の情報が整備・公開されていないこともあって, 定量的には十分には把握されていないと考えられる.

約 750 万 ha の灌漑面積のうち, 大型灌区の灌漑面積は約 60% を占めるため, この大型灌区の農業と灌漑用水の利用の実態と課題を把握すると, 黄河流域の灌漑と水資源利用に関わる問題の構造が見えてくると考え, 流域内の主要な大規模な灌漑地区と, 関連地域として甘肅省黒河流域の張掖地区の大規模な灌漑区域を事例として選び, 作付けと農業用水管理の実態の調査を進めてきた.

その結果, 各地区とも, 近年様々な「節水対策」を進め, 施設も管理組織に改善がみられるものの, 水収支構造に決定的な変化生じていないことと, また, 現在の作付け体系と用排水施設システムの条件下では, それぞれの地区としては, いわゆる「過剰な用水供給」が行われているとは単純にはいえないことが分かってきた. 以下では, この概況を整理する.

2. 黄河流域の灌漑農業の概況と課題

(1) 灌漑農地の概要

黄河を用水源とする灌漑農地の面積は 753 万 ha (1997) といわれ, その内 69% (約 520 万 ha) が水文学的な「黄河流域」内にある. 流域内の灌漑面積は, 1950 年代には 150 万 ha であったものが, 20 世紀後半に継続的に拡大してきた. とくに, 1990 年代で, 下流で急速に拡大したのが特徴的である (Li Huian, 2003). 黄河からの灌漑目的の取水量もこれに対応して増大し, 年間総量は 1950 年頃で 79 億 m^3 であったものが, 現在では約 310 億 m^3 (1997) にも達している.

中国では, 1 つの組織が管理する面積 (受益面積) によって灌漑地区 (灌区) の規模を以下の 3 つに区分する: すなわち, 大型灌区 (2 万 ha ~), 中型灌区 (670 ~ 2 万 ha), 小型灌区 (~ 670 ha) である. 黄河流域の全灌漑面積を, この灌区規模によって区分すると, 大型灌区が 60, 中型灌区が 16, 小型灌区が 24% を占める. なお, 大型灌区と中型灌区は合計で約 600 灌区ある.

全流域の平均年灌漑用水量は 483mm で, 高揚程揚水機に依存する灌区や井戸灌漑区で少なく約 375 ~ 450mm, 黄河からの取水条件に比較的恵まれた中流域の灌区では 788 ~ 900mm と多くなっている.

(2) 黄河流域の農業用配水管理の課題

面積も取水量も増大し続けてきた黄河流域の灌漑が, 様々な問題に面しているのは広く話題にされるところである. 基本的には, いわゆる「黄河断流」に象徴的に現れるように, 流域の水資源の需給の逼迫の中で, 利用可能量そのものが変動し, その長期的な動向が見定められていないことがある. その状況下, 最大の用水利用部門である灌漑は, 節水を迫られ, 一方で, 多量の人口の扶養と経済発展を支える食料の安定供給の役割を引き続いて発揮していくことを求められている.

農業用水利用における課題の政府の認識は以下のように整理されている. これは, 中国水利部農業水利司前司長冯広志氏の整理 (2004) によるものである.

- 1) 流域全体として水資源が過剰開発状態であり, 水需給のギャップが大きい.

- 2) 多くの灌漑区で施設整備の水準低く、老朽化が進行している。
- 3) 灌漑管理技術の整備・普及が遅れている。
- 4) 水質汚染が深刻である。
- 5) 一部地区では、「生態環境」が悪化する傾向にある。(水質改善の進捗を上回る悪化)。
- 6) 灌漑区の管理体制の整備が遅れている。

こうした状況に鑑み、流域の農業や灌漑の実態を把握し、流域の水文条件や水資源管理とのかかわりでその改善を検討するためには、以下のような点について調査研究を進めることが必要である。

- 1) 作付け体系や灌漑面積の変化の動向の把握
- 2) 節水対策の実施状況の把握 (計画と実際の進展)
 - a. 施設系 (ハード) と管理体制 (ソフト)
 - b. 水路系 (灌漑システム) と圃場 (オンファーム)
- 3) とくに農家参加型の灌漑管理 (用水戸協会設立) の内容と実効の評価
- 4) 圃場から灌区レベルまでの各レベルの水収支の構造と定量化 (黄河流況との関係)
- 5) 検討の基盤となる灌漑農業と管理改善に関する基礎情報の整備

3. 大型灌区における水利利用の動向と課題

黄河流域の大型灌区を事例地区として、水利利用の実態・動向を調査研究の課題と合わせて整理した。対象としたのは、河套灌区 (灌漑受益面積 57.6 万 ha)、位山灌区 (同 31 万 ha)、青銅峡灌区 (同 33 万 ha)、張掖地区 (黒河流域) (同 25 万 ha) である。(図 1)

(1) 河套灌区

黄河流域最大の灌区である河套灌区では、塩害対策・排水改良が進んだこともあって、灌漑面積は継続して拡大してきた。近年の「節水体制」下でも、減少傾向には転じていない。ただし、実際に播種され灌漑が実施された面積の正確な統計は整理できていない。一般的な農業統計によっても、耕地面積・灌漑面積の近年の変化は大きくないことが確認される。その中で、穀物の栽培面積は近年 (2000 年以降) 漸減する傾向が見られる一方、油料作物の栽培面積は漸増していることが示される。

黄河からの取水量も継続して増大してきて、1990 年代前半には年約 55 億 m^3 となり、その後 1990 年代後半に約 55 億 m^3 となり、2000 年以降は 45~48 億 m^3 程度に抑制されている。これに伴って、地区からの地表排水量 (烏梁素海への排水量) も約 6.5 億 m^3 から 4.5 億 m^3 程度に減少した。しかし、基本的な水収支の構造に決定的な変化が起こったというほどではないといえよう。

河套灌区では、黄河から取水された用水は、送配水過程で約 60% が「損失」されるといわれる。また、収穫後の土壌塩分の溶脱と土壌での冬季保水を目的とする「秋季湛水」のための用水量が、年総取水量の 30% にも達するといわれる。こうした特徴的な状況が、上記の状況の変

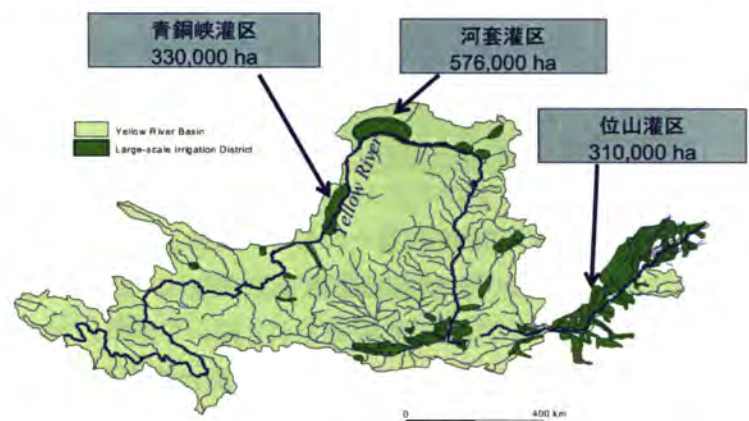


図 1 黄河流域の大型灌区位置と事例対象灌区

化に伴ってどのように変化したかが興味あるところだが、それを考察するに十分な情報は得られていない。また、黄河からの取水量の減少に伴って、地下水取水量が変化していると予想され、地下水流動や地下水位の変化と合わせて分析することが求められる。さらに、進んでいる管理組織の民営化、すなわち用水戸協会による管理の拡大の実態と、その効果の分析も必要である。

(2) 位山灌区

下流の山東省の位山灌区は、灌漑面積約 31 万 ha の大型灌区である。上流の河套灌区や青銅峡灌区が、乾燥地で黄河取水による灌漑にほぼ完全に依存しており、周辺の沙漠などから独立して形成されている「完全灌漑」地区であるのに対して、位山灌区は、降雨を補完して黄河から取水される「補給灌漑」がなされ、周辺にも同様の構造・規模の灌漑区が並び、それらを自然河川や排水路が流下している。農地排水は、基本的には黄河に還流されず、水文学的な定義からは黄河流域には含まれない。

1958 年から組織的な灌漑が行われるようになり、黄河から約 400m³/sec の取水を行い、70 万 ha に灌漑する計画が立てられたが、排水不良等による塩害の深刻化によって、1962 年には一旦灌漑を停止した。その後の排水改良などの対策とともに、1972 年から灌漑を再開し、現在、黄河から約 240m³/sec（年間約 70 億 m³）の取水を行っている。年 2 作であり、土砂の流入が多く、排水路は無いなど、上流の大型灌区とは状況を大きくことにしており、用排水系統や水管理などの基本情報の収集を進めているところであるが、これまでに整理できた状況は以下のとおりである。

気候は夏雨型（年間 400～600mm）で降水量の年変動（時間的分布の変動、総量の変動）が大きい。その中で、冬小麦（栽培期間は 9 月～6 月）の冬季にのみ灌漑し、冬小麦の裏作であるトウモロコシを含め、夏季作物には原則として灌漑を行わない。冬小麦の収量は降水量にかかわらず安定しているので、降水量を考慮して補給灌漑が行われているものと考えられる。

概算によると、この地域の小麦栽培（水ストレスのない作物成長）には、降水に加えて 500mm 程度の灌漑が必要で、黄河からの取水（約 280mm）の他に地区内で地下水を 200～220mm 程度取水していると推定される。

地区の河川・水路構造や水収支構造を考えると、域外への地表排水はほとんど生じてないと理解される。この水収支構造や、大量の土砂を含む水を取水することから、配水期間を短縮して水路への堆砂を防ぐ送配水方式を採用しているといわれることを、検証する必要がある。さらに、1960 年～70 年代に塩害が顕在化し、その後灌区内の自然河川を掘り下げて排水を改良して問題を緩和・解決したというストーリーも合わせて検討していく必要がある。

(3) 張掖地区

張掖地区は、甘粛省から内蒙古自治区に流下する黒河の扇状地に展開する。古くから、オアシスの灌漑農業が継続してきた地域であり、この数十年、継続して灌漑施設の整備と灌漑面積の拡大が進められてきた地域である。しかし、下流地域への河川流量の確保と環境保全を目的として、地区全体としての用水取水の削減が、全国の「節水型社会建設モデル地区」として強力に進められている。

農業における節水を進めるために、「三拡・三縮」政策が進められ、「三拡」として、林草面積・経済作物栽培・節水型作物栽培の拡大と、「三縮」として、農田面積・穀類栽培・水消費型作物栽培の縮小が、実施されている。

この結果、この地域の灌漑面積と栽培作物、黒河からの取水量はかなり変化した。地区の一部である張掖市周辺（甘州区）の灌漑面積は、1990 年代の 15 万 ha 前後から、2003 年では約 11 万 ha に

減少した。また、栽培作物も、穀物の割合が約 80%から 70%程度に減少し、張掖市近郊では野菜の栽培が拡大して、小麦・トウモロコシの栽培面積が 50%程度にも減少している。

黒河からの取水量は、1985 年前後で年間約 16 億 m^3 程度あったものが、その後継続して減少し、2000 年代に入ると約 11~12 億 m^3 となっている。その分、地下水の取水量が増加し、1980 年代にはほとんど記録されていなかったものが、2000 年代に入ると約 4 億 m^3 程度になって、なお増加傾向にあるという。この地下水取水の増加に伴って、一部では地下水位の低下が問題となっている。

この地域の土地利用・灌漑取水量の変化が、地域の水収支構造と黒河の流況に及ぼす影響は、現在、水文モデルを開発して検討を進めているところである。生産の変化と農家経済の変化と合わせて、灌漑管理の変化が河川水文環境に及ぼす影響の考察事例として興味深い成果が得られると考える。

4. まとめ

以上、事例とした大型灌区の水利用の実態・動向を整理した。上では、地区の動向を整理していない寧夏回族自治区の青銅峡灌区を含め、各灌区の水収支の概況を整理すると表 1 のようになる。この表からは、灌区ごとに水（塩類）収支構造は大きく異なることが分かる。この差異は、地形・地質、作付け体系、施設構造、水管理体制、社会・政治的要因、などに起因すると考えられる。

上流で、比較的用水取水の制約が小さく、水田面積の多い青銅峡灌区は、多量の取水の一方で多量の黄河への還元水がある。地区内を通過する水量が多く、黄河からの取水量の減少が黄河の下流への流下水量にそのまま結びつくことはない。一方、同様に多量の取水を行う河套灌区は、ほぼ地区内で用水を消費し、黄河への還元水量は小さい。従って、取水量の減少は、黄河の下流への流下水量に直接影響することになる。位山灌区は、他の 2 地区と異なって降水量がかなり見込まれ（黄河からの取水量以上）、地区全体として「補給灌漑」の様相を呈す。黄河からの取水量に変化があれば、作付け体系を変更するか、地下水取水量を変化させることになり、変動要因・操作要因がやや複雑となる。

以上のように、大型灌区の水利用の基本と水収支構造の概況をようやく把握できた。その結果、水利用量は作付面積や灌漑定額などから単純に推測することはできないことを、改めて確認することができた。また、全体の動向を見れば、農業部門として節水を図るために、穀物栽培（とくに小麦）を縮小して、河川（黄河や黒河）からの取水量の削減を図っていることが読み取れる。一方で、それは、地下水取水量の増加をもたらし、今後の地下水位低下・地下水枯渇の可能性を予感させる。さらに、中国の小麦輸入の増加という現実に関わりつつあることが分かる。

今後は、以上の概況の把握を踏まえて、中国の農業政策・水資源政策の展開の中で、各灌漑地区の動向と役割を整理し、個別

表 1 大型灌区の水収支の概況（多年平均）

	Unit	青銅峡	河套	位山
総面積	10^3ha	624	1190	360
灌漑面積	10^3ha	330	576	310
黄河からの	$10^9\text{m}^3/\text{年}$	6.2	5.0	0.89(※)
灌漑目的取水量	mm/年	1880	868	274
還元流出量	$10^9\text{m}^3/\text{年}$	3.53	0.53	≒ 0
	mm/年	1070	92	≒ 0
塩類流入	$10^3\text{t}/\text{年}$	280	215	-
塩類排出	$10^3\text{t}/\text{年}$	400	63	-
塩類収支	$10^3\text{t}/\text{年}$	-120	168	-

※位山灌区では、これに加え $0.65 \times 10^9 \text{m}^3/\text{年}$ の地下水を取水。年降水量約 550mm
「総面積」は灌区の送水可能範囲を大括りした地区面積の参考値（灌区毎に、定義・算定方法が異なる）。

の「節水対策」の実効を評価していくことが求められる。とくに、灌区の作付け体系・施設整備・用排水管理の相互関係が水収支に及ぼす影響を定量的に評価することが求められる。この目的のために、別途 IMPAM（灌漑管理実効評価モデル）を開発して検討を進めている。

灌漑管理実効評価モデル (IMPAM) の開発と河套灌区への適用

総合地球環境学研究所 星川圭介, 久米崇, 渡辺紹裕

1. はじめに

黄河からの取水量は1950年代から急速な増加を続け、1990年代には流域水資源量の80%前後が消費されるに至った。下流域での断流をはじめとする深刻な水不足が生じている状況下において、灌漑農業における水消費は流域消費水量の90%以上を占め、さらにその半分以上が施設やその管理の不備に因る「浪費」とされることから、現在、施設整備や節水灌漑手法の開発、管理の適正化等によって、灌漑取水量の削減を目指す動きが進んでいる。

しかしながら水利用の効率化に向けたこれらの取り組みは、現状の水収支構造についての十分な実態把握がないままに行われている状態であり、「浪費」が本当に無効な水利用であるのかについての裏付けや、水利用効率化がもたらす影響に対する事前評価を欠いている。用排水路流量の観測や蒸発散量の測定、還元水量の推定などは行われているが、そうした観測結果等をつなぎ合わせて、地域における水収支構造を定量的に再現できる数値計算モデルが求められている。

こうした背景を受け、筆者らは、灌漑用水が取水口から水路を通じて分配され、蒸発散し、あるいは水路を通じて還元されるまでの過程を再現することを目的としたモデル (IMPAM (灌漑実効評価モデル) : Irrigation Management Performance Assessment Model) を開発した。本報告では、このIMPAMの構造、機能、計算手法を示し、さらに黄河流域河套灌区への適用事例の紹介を通じて、「浪費」が多いとされている同灌区における現状水利用の実態を検証する。

2. 灌漑管理実効評価モデルの開発

2.1 モデルの構造と機能

灌漑が行われている地域の水収支構造を規定する主な因子には、用排水施設 (物理的構造・配置・ネットワーク構造)、土地利用 (の混在度)、土壌 (土性) 分布、地形等の地理的因子、輪番パターン、作付パターン、そのほか、地域に対する割り当て水量といった外部因子などがある。また、水収支を構成する主要素には、降雨量や取水量などの他に、水路漏水による地下水涵養、排水路への地下水流出、地下水面と地表面間の水分動態、地下水流動、土壌面蒸発、蒸散などがある。水収支構造のモデル化に適した空間範囲は、外部因子を除く諸因子をモデルの中に取り込み、十分な代表性をもって各構成要素を計算できる程度の広がりを持ち、かつ、水収支的にある程度閉じた空間範囲である。具体的には1つの事業地区、あるいは幹線・支線水路の受益地程度がこれに該当すると考えられる。したがってIMPAMも、事業地区から幹線・支線水路の受益地程度 (以下、これを「灌漑地区」と定義し、用いることとする) への適用を念頭に開発した。

地理的因子を取り込んで水収支を計算するには分布型モデルが適しているが、水路や圃場区画の配置といった地理的因子に輪番パターンや作付けパターンといった管理因子がリンクするとい

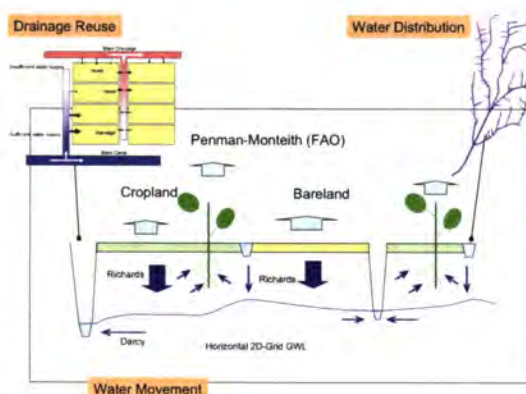


図1 モデルの概念

う灌漑地区の特徴上、単なるグリッドモデルではなく、いわゆるGISでいう「ポリゴン」や「トポロジ」的な概念を採用することが不可欠である。そのため、IMPAMは、A) 配水計画モジュール、B) 排水再用モジュール、および、C) 土壌・地下水移動準3次元グリッドモデルの3つを組み合わせた構成となった(図1)。A、Bはポリゴン・トポロジ的な手法で灌漑管理を扱い、Cは分布型モデルとして物理的な水移動を計算すると共に、A、Bで計算した結果を載せる土台として機能する。

A. 配水モジュール

主に用水路のネットワーク構造や、各区間の送水容量・漏水量によって規定される、各農地区画への灌漑のタイミングや、用水路各区間の通水期間といった配水パターンを模擬発生させる。仮に作成した配水パターンが、容量を超える送水量を与えるものであれば、矛盾がなくなるまでパターンを変えつつ繰り返し計算する。

B. 排水再用モジュール

灌漑用水が不足する灌漑地区下流では、排水路に浸出した水がしばしば灌漑に用いられる。この反復利用を表現する。

C. 地区内水移動モジュール

地区内の土壌水分・地下水移動を表現。簡略化のため、不飽和領域の水平水移動を無視できるものと考え、飽和領域を水平2次元グリッドモデルで、不飽和領域を鉛直1次元モデルでそれぞれ別個に扱う。鉛直1次元計算および蒸発散の計算は、圃場水収支モデルとして広く使用されているSWAP (van Dan et. al., 1997) の理論に準拠している。

水平2次元水移動計算

水頭(h)と時間(t)、水平座標(x, y)の偏微分方程式(式1)を解いて求める。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{K}{S_s} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) + S \quad \text{---(1)}$$

シンク・ソース項Sは、排水、用水路からの漏水、1次元鉛直計算部とのやり取り(下端ノードフラックス)の和である。

水平方向のグリッドの大きさは、必要とされる解像度、シミュレーションの目的に応じて数十mから1km程度の範囲で任意に設定可能である。

鉛直1次元水移動計算

Richardsの偏微分方程式(式2)を解いて求める。上部境界条件は、灌漑、降水、土壌面蒸発によって与えられる。また、植物根群による吸水は、各ノードのシンク項(S(h))として扱われる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right]}{\partial z} - S(h) \quad \text{---(2)}$$

蒸発散計算

Penman-Monteith式により、各グリッドについて、グリッド内が完全に裸地である場合の可能土壌面蒸発量および完全に作物の葉に覆われている場合の可能蒸散量を求め、それらにそれぞれ各グリッドの裸地率、植被率を掛けることにより、可能蒸発量、可能蒸散量を求める。可能蒸散量の算定に必要なパラメータの内、作物高と植被率については入力データとして農地区画一日の時系列表によって与えられる。また群落抵抗については、各作物について固定のパラメータとして与えられる。

実際の蒸発量、蒸散量は土壌の乾燥によって抑制される。IMPAMでは、土壌面蒸発抑制は乾燥に

伴う透水係数減少，蒸散抑制については，根群を鉛直方向に上述の鉛直1次元水移動計算と同じ区間に分割し，可能蒸散量を根群各区間に按分して区間可能吸水量とし（式3），それぞれの区間の土壌水分（水頭 h ）に応じた吸水減少係数 α （図2）を計算して区間ごとの実吸水量を求め（式4），その総和として実蒸散量を計算するという方法（Feddes *et al.*, 1978）を採用した。

$$Sp(z) = \frac{dz}{D_{root}} Tp \quad \text{---(3)}$$

$$Sa(z) = \alpha_z Sp(z) \quad \text{---(4)}$$

ここで， Ta ：実蒸散量， D_{root} ：根群深， Sp ： z における最大根吸水量， Sa ：同，実吸水量。

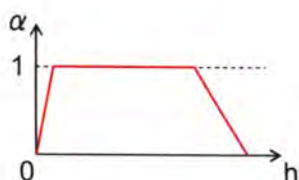


図2 Feddes の関数

3. IMPAM を用いた灌漑管理評価

3.1 目的

河套灌区における現状水収支構造の表現と管理を変更した場合に起こりうる変化についてのシミュレーションを通じて，現行水利用の問題点を検証する。

3.2 対象地区概要

河套灌区は黄河流域最大の灌区であり，地区総面積約110万ha，灌漑面積55万ha。河套灌区の水収支は，（1）塩害，（2）用水路からの大量の漏水，（3）秋季灌漑によって特徴付けられている。（1）は農地と混在する裸地（塩害地）を作り出し，土壌面からの無効な蒸発を増加させていると考えられているほか，土壌塩類洗脱用水需要ももたしている。（2）は幹線から末端まで総延長約8万kmに及ぶ用水系統（劉占強，掲載誌不詳）のほとんどがライニングされていないため，漏水量が取水量に占める割合は約60%にも及ぶ。また（3）は来春の作付時の水を確保するため，収穫後に灌漑を行い，凍結水として土中に水を貯留するものである。

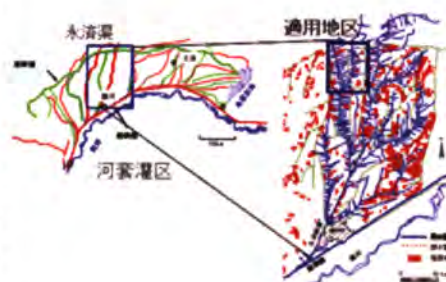


図3 対象地区

実際にIMPAMを適用したのは，河套灌区永濟幹渠下流端受益地約11,000haである（図3）。

3.3 入力データおよびパラメータ

土壌パラメータ

IMPAMはVan Genuchten（1980）の $\theta-h$ 関係式およびMualem（1976）の $K-\theta$ 関係式を用いる。これらの式のパラメータを，愛媛大学の大上助教授が河套灌区沙壕渠試験場において行った蒸発散観測結果を用いて調整した。

河套灌区の土壌はシルトである（劉，2004）が，地表面に供給された水が速やかに浸透し，数mm

程度の降水の場合、1日～2日後には蒸発が抑制される程度に地表面が乾燥する（図4 E soil (obs) - E water (calc)）ことなどから、河套灌区の土層には比較的大きな間隙（亀裂）が存在し、降水や灌漑直後に Darcy 式に則らない極めて早い下方浸透を生じせしめているものと推定された。今回は、こうした水分挙動をモデル中で擬似的に再現するため、シルトと砂質土両方の物理性を併せ持つ土壌を仮定しパラメータを設定した。図4に、その仮定土壌パラメータを用いて IMPAM で計算した結果（E soil (calc)）と観測値との比較を示す。降水後の蒸発量が過大に算出される傾向が見られるが、概ね妥当な値を得ている。更なるパラメータ調整によって降水直後の過大算出を修正することは、鉛直1次元計算の不安定化を招くため難しい。

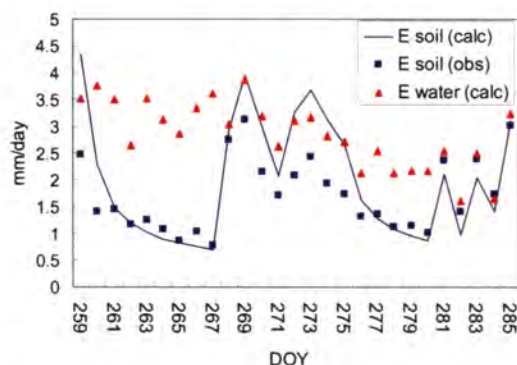


図4 IMPAM 計算値と観測値の比較
(裸地土壌面蒸発)

作物・土地利用

河套灌区における主な作物は小麦、ヒマワリ、トウモロコシであり、今回はこれらの作物がランダムに作付けられていると仮定し、地区内農地区画に割り振った。作付け・収穫時期、作物高、根群深などは、観察や聞き取りなどによった。

また、地区内の農地・裸地の分布は、衛星データの目視判読に基づく。

灌漑・気象

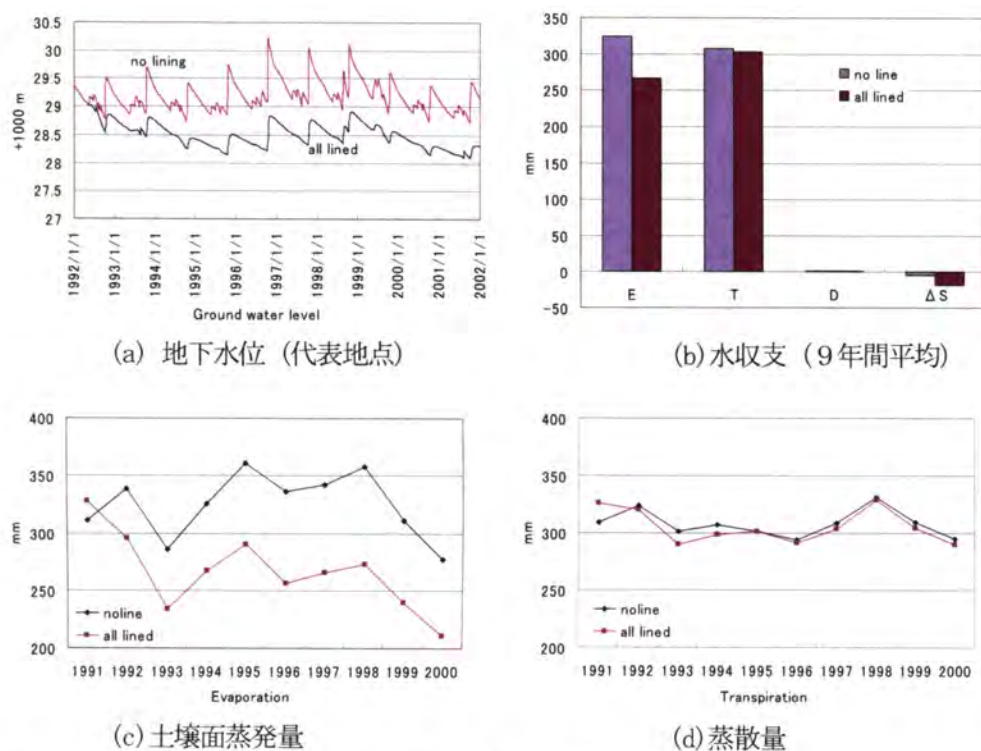
灌漑水量とタイミングは赤江ら（2004）の観測値、気象データは臨河市 1991～2000 年を用いた。

3.4 適用シナリオ

上述のとおり、河套灌区では取水量の約6割が水路から地下に浸透しているとされ、しばしばこれが水の無効利用の例として挙げられる。したがってここでは、現況の水収支をモデル再現するのに加え、用水路をライニングし、漏水をなくした場合の水収支を、シミュレーションにより予測することとした。対象地域の現状漏水量については、灌区全体よりも少ない値である3割とし、水路区間の漏水率を設定した。

3.5 結果

用水路からの漏水がなくなった場合、収支のバランスが崩れ、地下水位は年々低下（図5a。それに伴って毛管上昇が減少し、土壌面からの蒸発は大幅に減少（図5b, c）する。土壌面からの蒸発は無効な水消費と考えられるから、この点において、水路のライニングは水利用の効率化に効果があるといえる。しかし、量的に過大な灌漑を行って地下水を涵養し、その後、毛管上昇によって作物に水を供給する（大きなピークの間の小ピーク）形態をとる現行の灌漑パターンは、地下水位がある程度高くないと成り立たず、現にモデルでも、ライニングを行った場合蒸散量が現状よりやや少なくなることも示されている（図5b, d）。作物収量と正の相関関係にあるため、このまま地下水位の低下が続く、かつ、現行の灌漑パターンを変えない場合には、特に少雨年において作物の収量が大幅に減少する恐れがある。



(b) E : 土壌面蒸発量, T : 蒸散量, D : 排水量, ΔS : 貯留量 (不飽和+地下水) 変化

図5 現状およびライニング後 (IMPAM 適用結果)

4. まとめ

観測蒸発散量との比較により、土壌パラメータを実験室レベルの測定値ではなく、Richards 式に則らない土壌亀裂流等の速い下方浸透を擬似的に表現できる値に設定する必要があること、あるいは今後の課題として、こうした速い浸透を表現する仕組みを IMPAM の鉛直 1 次元土壌水分モデルに組み込む必要があることが示唆された。

用水路からの漏水は地下水を涵養し、一部、間接的に作物生育に寄与しており、単に「損失」とはいない。ライニングを行うならば、灌漑パタン (輪番パタン) も再設計する必要がある。ライニングにとどまらない大幅なシステムの改変を必要とする可能性がある。したがって、現状の経済・技術・社会等の制約下では、直ちにライニングを行って漏水をなくすべきであるとまでは言えないことが分かった。

引用・参考文献

- 赤江剛夫, 森本一幹, 史海濱, 李延林, 2004, 内蒙古, 河套灌区における塩害地改良法と圃場レベル水分・塩分動態, 寒冷乾燥気候アジアにおける砂漠化進行農地および草原の修復と貧困改善対策 2003 年度報告書
- 劉霞, 2003, 寒冷乾燥地における土壌の凍結・融解に伴う水分・塩分・熱の移動に関する研究, 岐阜大学大学院連合農業研究科博士論文

- 劉占強, 出版年不詳, 河套灌區農作物灌溉與水資源緊缺的矛盾和節水對策, 揭載誌不詳
- Feddes R. A., Kowalik P. J. and Zarandny H. 1978, Simulation of field water use and crop yield, Simulation Monographs, Pudoc. Wageningen. pp.189
- Mualem, Y., 1976, A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, Water Resour. Res., 12, 513-522
- Van Dam J. C., Huygen J., Wesseling J. G., Feddes R. A., Kabat P., Van Walsum P. E. V., Groendijk P. and Van Diepen C. A., 1997, Theory of SWAP version 2.0, Department of Water Resources, Wageningen Agricultural University
- Van Genuchten, M. Th, 1980, A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated-saturated flow and transport equations, Adv. Water Resour., 5, 47-55

農業センサスからみた稲枝地域の農業構造変化と担い手の可能性

P3-1 柏尾 珠紀

本報告は、P3-1 プロジェクト「琵琶湖―淀川水系における流域管理モデルの構築」の一環でおこなった研究に基づくものである。琵琶湖における環境負荷問題のひとつである濁水問題を検討する手がかりとして、コアサイトである稲枝地区の農業経営の変化を歴史具体的に検証し現状を考察した。農業濁水問題は、高度経済成長期と相前後して大々的に実施された灌漑排水事業や圃場整備事業といった土地改良事業を受けて生起し始めたものである。こういった問題は企業活動の引き起こす公害問題とは異なり、近年まで社会的に注目されることが少なかった。しかし、濁水問題自体は、工業化による経済成長のために、優良な労働力を大量に農業部門から工業部門へ移動させることを企図した農業経営近代化政策における功罪のひとつなのである。つまり、この問題は経済政策と密接に関わる農業政策の負の部分であり、優れて構造的な問題であるといえる。

報告では以下の四つの課題を設定し進めた。第一は、農業センサス分析の意義と限界を述べることであった。第二は、日本における戦後の農業政策の変化を整理することであった。第三は、稲枝地域の戦後の農業構造変化を農業政策と関連付けながら跡付けることであった。第四は、2000 年農業センサスの担い手に関する指標を中心に検討することで、現在の稲枝地域の農業集落を営農の側面から類型化し、今後の資源管理主体について展望することであった。

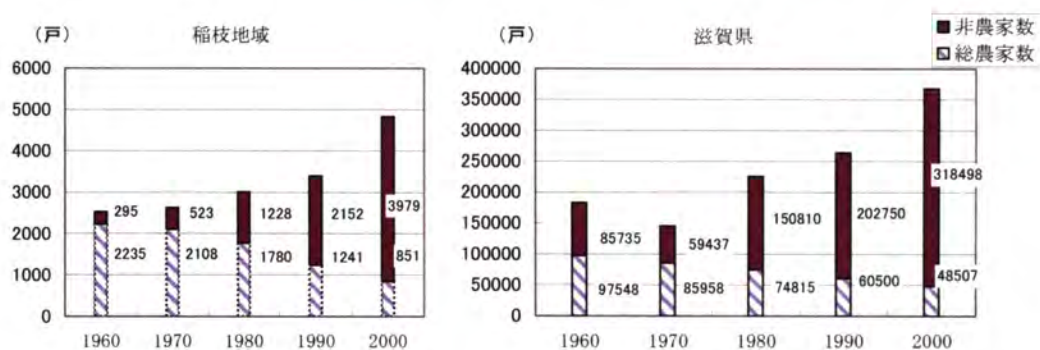
第一、第二、第三の課題については、主に農業経済学に蓄積されてきた統計的分析手法や理論を用いて整理、考察した。具体的に戦後の日本農政の変遷を 3 つの時期に区分して整理し、それらと対照させながら地域農業の変化を跡付けた（図 1、図 2、図 3）。稲枝地域は戦後、地理的条件から農業振興地域として線引きされ、農業政策に忠実な先進地であり優良地となった。この変化は農政の意図するとおりであり、兼業化にともない離農した労働力を工業発展に送り込む一方で、営農の場面においては労働生産性の向上を指向した。その結果、同地域は稲作特化型の規模拡大を展開した。

第四の課題については、2000 年の農業センサスを用いて主成分分析を行った。その結果 3 つの主成分を抽出した。さらにその 3 つの主成分得点をもとに地域を類型化することを試みた。そうすると、稲枝地域は、担い手賦存型大規模経営、自己完結型農地維持経営、外部依存型経営という 3 パターンの集落群に分類することができた（表 1）。

それぞれの集落群を社会学的な人間活動の分析手法も加えて考察し展望すると以下のように述べることができるだろう。第一型の担い手賦存型は、一定程度の担い手が存在しており今後も資源管理的な農業経営を行える可能性がある。これらの集落に共通する点は平場で早期に圃場整備が終了した集落群である。次に自己完結型は、兼業農家として維持・存続する可能性があるが長期的には課題がある。これらは担い手型に隣接している集落が多い共通点がある。最後に外倍依存型は、現状における担い手不足と委託経営の深化があり、いっそう外部依存度を高める可能性を持つ集落群である。

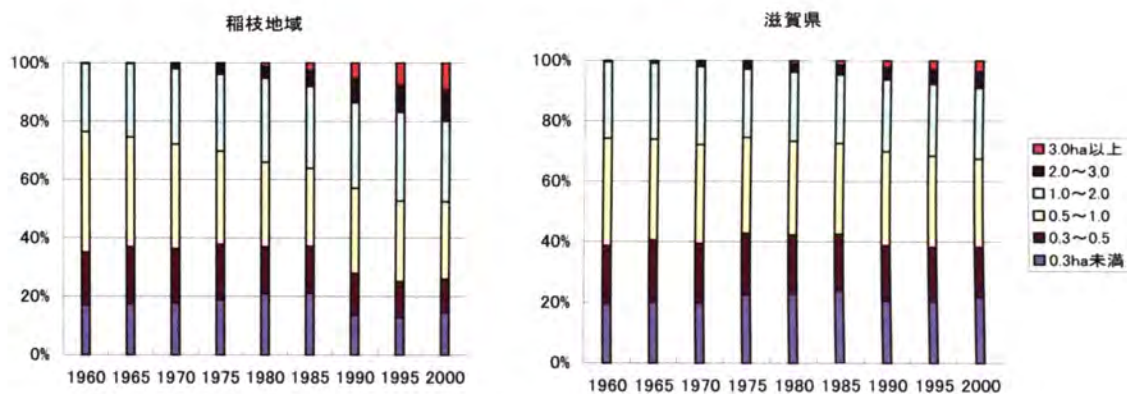
以上のことから、農業経営を軸とする地域資源管理における担い手概念自体を再構築する必

要性を提示すると同時に、政策理念の整備やコミュニティ活動との連携の必要性を提示した。



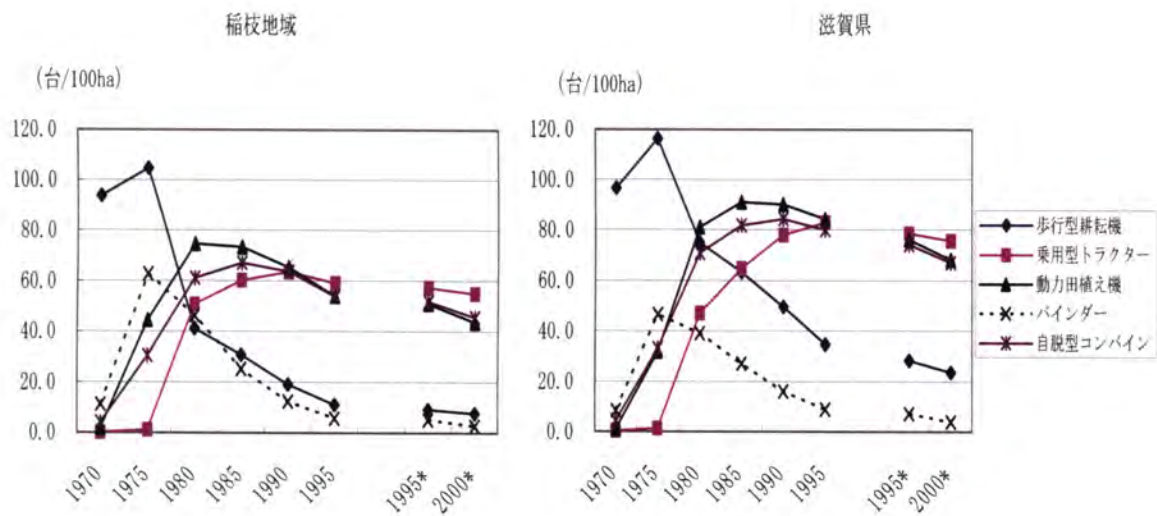
出所) 農林水産省『農業センサス』各年版。

図1 農家数と非農家の推移



出所) 図1に同じ。

図2 経営耕地面積の推移



出所) 図 1 に同じ。

図 3 経営耕地面積 100ha 当たり農業機械台数の推移

表 1 稲枝地域における主成分

	成分		
	第一主成分	第二主成分	第三主成分
兼業化率	-0.358	0.734	-0.325
3ha以上層農家率	0.627	0.477	-0.202
農家人口高齢化率	0.459	-0.676	-0.251
農業専従者数男女計農家数	0.783	0.076	0.434
稲作委託率	-0.465	0.158	0.750
稲作受託率	0.537	-0.002	0.199
販売農家数に占める複合経営農家率	0.746	0.388	0.037
累積寄与率	34.37	54.44	68.75

注) 農業専従者数男女計農家数および受委託率については販売農家数について算出している。

衛星データを用いた黄河流域の土地被覆モニタリング

松岡真如・福嶋義宏・早坂忠裕・本多嘉明・沖大幹

はじめに

本研究の目的は黄河流域において開発している水文モデルへの入力データとして、1980 年以降 20 年間の土地被覆の変化を衛星データを用いて解析することである。ここでは発表に使用したファイル（抜粋）を用いて研究の現状を報告する。

研究の流れと進行状況

本研究では 3 つのセンサを使用し、MODIS を用いた土地被覆分類、AVHRR を用いた土地被覆変化の抽出、Landsat による検証と局所的な解析の三つを柱として解析を進めている（図 1）。これまでに MODIS を用いた土地被覆分類をほぼ終了し、現在は AVHRR を用いた変化地域の抽出を重点的に行なっている。ここでは AVHRR の未補正データを処理して約 20 年分の時系列データセットを作成し、それを用いて解析を行なう予定である。並行して Landsat と AVHRR を用いた灌漑区における農地面積推定手法の開発を行なっている。ここでは水文モデルにおいて重要な役割を果たす灌漑区において AVHRR の時系列データを用いて農地面積の変化を高精度に抽出するために、高解像度の Landsat データから求めた農地面積と低解像度の AVHRR データから求めた年間最大 NDVI の関係を解析している。

AVHRR 時系列データセットの作成

データセットの作成行程を図 2 に示す。まず一日分の AVHRR の未補正データ（1～3 軌道分）に放射量補正と幾何補正を施すことで毎日のデータであるデイリーデータセットが作成される。しかし通常は雲により地表面はほとんど見えないので数日分のデイリーデータを用いて雲を除去したコンポジットデータセットを作成する。AVHRR の未補正データは東京大学生産技術研究所と千葉大学環境リモートセンシング研究センターで受信された HRPT と NOAA から配布されている LAC, GAC を使用している。現時点における問題点として軌道情報の精度の低さがあげられる（図 3）。AVHRR の幾何補正においては Celes Trak (<http://www.celestrak.com/>) で公開されている NOAA 衛星の軌道情報を利用している。この軌道情報の精度が低く、主として衛星の軌道方向に 10 度程度のずれが見られることがある。これに対処するため、空間解像度の低いデータセットを試作したうえで目視によって精度を確認し、ずれの少ない軌道情報を選別して軌道情報の再編成を行なった。これによりデータセットの幾何精度が向上した。本データセットでは HRPT, LAC, GAC の三種類のデータを使用しており、HRPT, LAC は 1 km の、GAC は 4 km の解像度である。本来は対象地域全域を 1 km の解像度でカバーできることが望ましいが、地域や時期によってはデータが入手できない。とくに HRPT 受信局の受信範囲から外れる西側において顕著である。そのため、HRPT, LAC が利用可能な地域においては 1 km 解像度でデータを作成し、その他の地域においては 4 km 解像度の GAC を 1 km 解像度に幾何補正して使用している（図 4）。現在、数年分のデータセットを作成済みであるが、データ量が多い関係で全ての期間をカバーしておらず、引き続き処理を行なう予定である。

AVHRR と Landsat を用いた灌漑区における農地面積の推定

黄河の水文モデルの開発において農業は流域の水動態を大きく左右する要因であり、特に灌漑区における水利用はモデルの結果に大きな影響を及ぼす。そのためモデルの高精度化には灌漑区の農地面積変化を高精度に推定することが重要である。本研究では青銅峡灌漑区を対象に、Landsat と AVHRR を組み合わせて農地面積を推定する手法を開発した。手法は Landsat/ETM+を用いて作成した土地被覆分類図から算出した農地面積と上記 AVHRR 時系列データセットから作成した年間最大 NDVI との関係をj用いて、低解像度の AVHRR から画素内の農地面積を推定する手法である（図 5）。ETM+からの土地被覆分類図の作成では 1999 年 8 月 12 日に観測された 2 シーンを用いたデジタリオンツリ一分類手法を適用した。この分類結果を寧夏統計年鑑に記載された 1999 年の県別の播種面積との比較し、分類精度の評価を行った（図 6）。両者は良い一致を示したが、灌漑区の中流部に位置する県で土地被覆分類図が若干の過大推定を示し、灌漑区の下流部において若干の過小推定を示した。この理由は明らかになっておらず、今後の解析が必要である。また塩池県では土地被覆分類図は極端な過小評価を示した。これは塩池県が青銅峡灌漑区に含まれておらず、農地のほとんどが灌漑農地ではないために自然植生に分類されたことが原因である。しかし水文

黄河流域降水量の長期変動とモデルによる降水の数値実験

馬燮鈞¹・吉兼隆生¹・原 政之¹・木村富士男^{1,2}・福嶋義宏³

¹地球環境フロンティア研究センター, ²筑波大学, ³総合地球環境学研究所

はじめに

降水量の変化は黄河の流出過程の変化において極めて重要な要因の一つである。本研究では、黄河流域内の降水実態の把握と降水過程変動の予測をするために既存降水データの解析と降水の数値実験を行った。ここで、それぞれの結果を報告する。

黄河流域既存降水データの解析

今年度では新に黄河流域周辺の地上観測気象データが入手したため、解析に使える気象観測所の数が前年度の 76 カ所から 117 カ所に増やした。また、データの時系列が 1950 年代までに遡っていたことから、数十年レベルの考察が可能となった。同じ期間で見ると、今回の解析期間は 1960 年 10 月から 2001 年 9 月までの 41 年間である。一水年は前年の 10 月からその年の 9 月までとした。また、この 117 ヶ所の地点データを水文モデルと同様な方法で黄河流域に内挿し、各集水域毎に集計した。

花園口より上流の黄河流域は黄河沿い主な水文観測所を参考に五つの集水域に分割した。各集水域の面積は、最上流の唐乃亥まで(w1)の 122,000 km²、唐乃亥から蘭州まで(w2)の 100,000 km²、蘭州から頭道拐まで(w3)の 166,000 km²、頭道拐から三門峡まで(w4)の 306,000 km²と三門峡から花園口まで(w5)の 42,000 km²である。

図-1 に各集水域平均の年間降水量、図-2 に 5 年移動平均の年間降水量、図-3 に 5 年移動平均の夏季半期(4 月-9 月)の降水量と図-4 に 5 年移動平均の冬季半期(10 月-3 月)の降水量を示す。期間中の全流域平均の年間降水量は 476.5mm であり、そのうち、夏半期の降水量は年間値の約 85%を占める。また、蘭州—頭道拐間(w3)の乾燥域を除いて、移動平均図で年間降水量と夏季半期降水量は 1985 年から顕著な減少傾向が見られた。その結果、1985 年以降の年平均降水量はそれ以前と比べて、w1 での 13.5mm、w2 での 29.3mm、w4 での 42.4mm と w5 での 42.6mm の差が生じたことが明らかになった。

降水の数値実験

多様な気候帯が混在する黄河流域の降水システムを理解するために、モデルによる数値実験を行った。今回の数値実験に導入したのは、アメリカの大気研究センター(NCAR)、環境予測センター(NCEP)、海洋大気庁(NOAA)などが中心となって開発された次世代のメソモデル「Weather Research and Forecasting(WRF) model」(<http://www.wrf-model.org/>)である。計算の領域は図-5 で示してある。水平格子間隔を 20km に設定した。NCEP の再解析データを初期値および側面境界値として 1979 年から 1982 年までの 4 年間で計算した。

その結果、源流域の w1(図-6)では実測値(黄河 0.1-grid データ、Xie et al.)より 37%程度の過大評価となった。残り四つ集水域ではほぼ再現できたが、年々変動の再現はまだできず。今後は多方面からこの気候領域モデルのパフォーマンスを評価した上で長期計算を行う予定である。

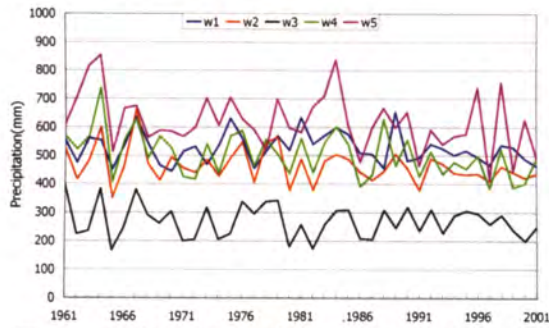


図-1 地域平均年間降水量(1961-2001)

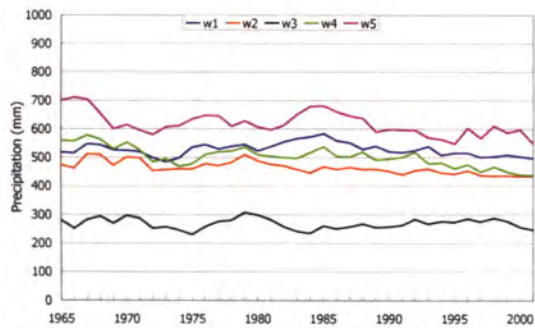


図-2 5年移動平均年間降水量(1965-2001)

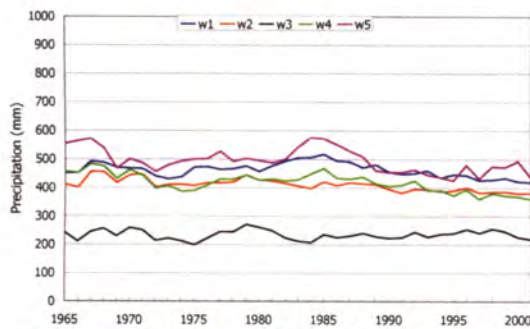


図-3 5年移動平均夏季降水量(1965-2001)

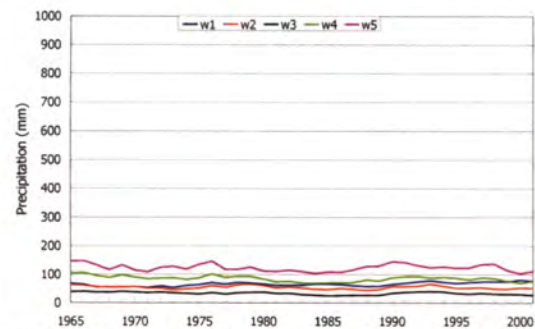


図-4 5年移動平均冬季降水量(1965-2001)

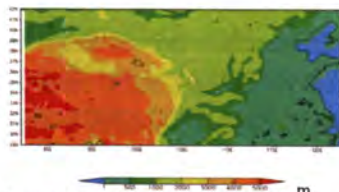


図-5 計算領域および地形図

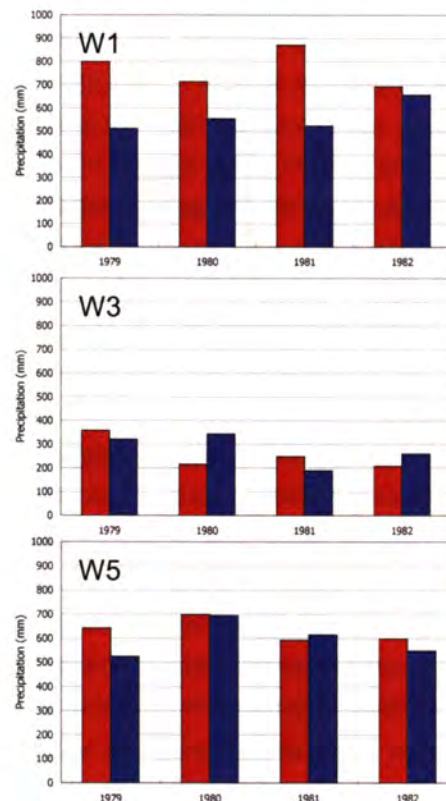
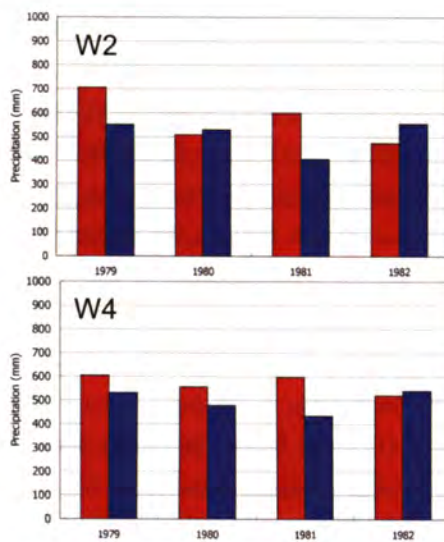


図-6 年間降水量の比較(1979-1982) (赤:計算値;青:黄河 0.1-grid データ、Xie et al.)

Long-term trends of extreme precipitation events in the Yellow River Basin: 1961~2000

Hongxing Zheng^{1,2}, Yoshihiro Fukushima¹, Yoshinobu Sato¹

1. Research Institute for Humanity and Nature, Japan
2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 100101

Abstract

Water cycle is shifting its gear with the projected global temperature increase, resulting from rising levels of greenhouse gas in the atmosphere. The intensified water cycle is likely to have profound impacts on society and the environment as the frequency or intensity of extreme precipitation events changed. In this paper, long term trends of extreme precipitation events in the Yellow River Basin from 1961 to 2000 have been investigated, considering changes of intensity, frequency, duration and timing. The results have shown that for the YRB as a whole, there were general decreasing tendency of maximum precipitation of n continuous day (N-Pmax), precipitation days (NRI), duration of wet spell (DWmax) but increasing in mean precipitation intensity of rain days (MRI), duration of dry spell (DDmax). The timing of N-Pmax had become 20–40 days earlier during the 40 years from 1961 to 2000. Spatially, the headwater (sub-basin 1) and middle reaches of the YRB (including subbasin 5, 6 and 7) had the most significant changes of extreme precipitation events, which may have great hydrological impacts of the whole basin.

Key words: extreme precipitation events, trend, the Yellow River Basin

Introduction

Water cycle is shifting its gear with the projected global temperature increase, resulting from rising levels of greenhouse gas in the atmosphere (Thomas, et.al, 2005). The intensified water cycle is likely to have profound impacts on society and the environment as the frequency or intensity of extreme precipitation events changed (Karl et al., 1999; IPCC, 2001). With the increasing concern of the impacts of extreme precipitation events, many researches have tried to detect the long term changes of extreme precipitation events. In a review of changes of extreme precipitation, it was reported that trends in 1-day and multiday heavy precipitation events in the some regions have shown a tendency toward more days with heavy precipitation totals over the 20th century (Easterling, et al, 2000).

The Yellow River is known as the cradle of Chinese Civilization (Fig.1). Under the impacts of climate change as well as human activities, hydrological cycle of the Yellow River Basin has changed greatly and rapidly, which has resulted at serious water related problems in the region (Liu & Zheng, 2002) Significant decreasing tendency of annual stream flow in the region have been detected in the past 50 years, however, no significant changes were detected in the annual precipitation (Liu & Zheng, 2004; Fu, et.al, 2004). Water shortage and floods in the region—already a limiting factor for ecosystems, food and fiber production, human settlements, and human health— may be exacerbated by changes of extreme precipitation events.

Climate extremes can be placed into two broad groups: (i) those based on simple climate statistics, which include extremes such as a very low or very high daily temperature, or heavy daily or monthly rainfall amount, that occur every year; and (ii) more complex event-driven

extremes, examples of which include drought, floods, or hurricanes, which do not necessarily occur every year at a given location (Easterling, et al, 2000). In this paper, the former concept of extreme events was accepted to detect the tendency of extreme precipitation events in the Yellow River Basin from 1961 to 2000, considering intensity, frequency, duration and timing.

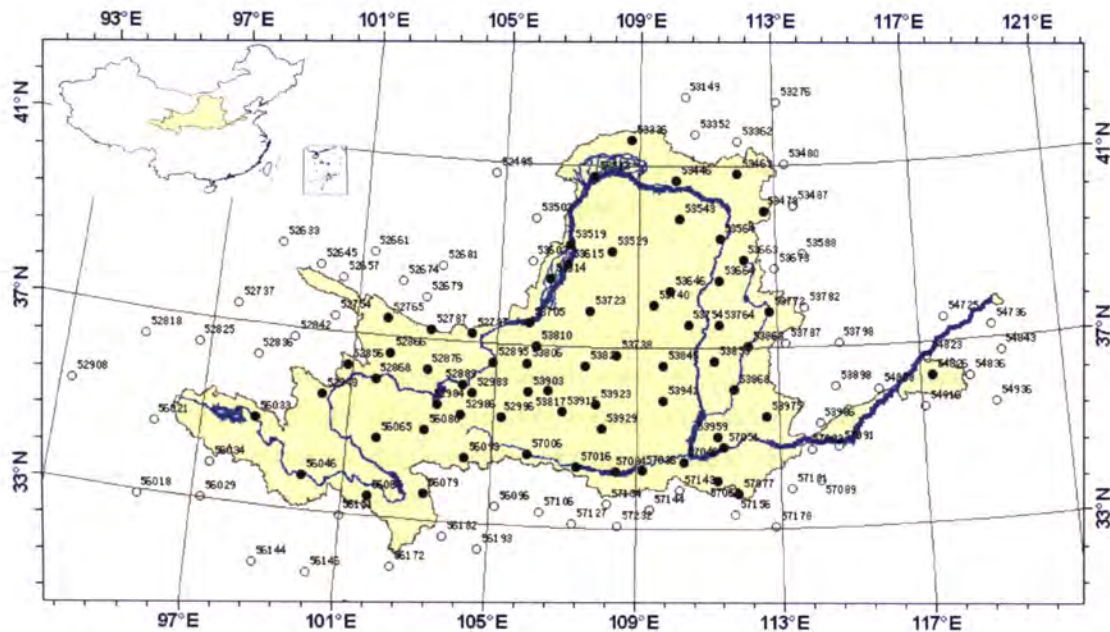


Figure 1. Location of the Yellow River Basin and the distribution of precipitation gauges

Data availability and methodology

Data availability

A dataset of daily precipitation from 1961 to 2000 has been used in this study. It includes almost all first- and second-class national climate stations in China and was developed at the Climate Data Center (CDC) of the China Meteorological Administration. This is the best daily dataset currently available for studying climate change in the country. The data have been subject to quality control procedures of the CDC.

Missing values and temporal inhomogeneity have been checked at the beginning of the subsequent analysis. Stations with too many missing values are dropped and 128 gauges were selected for this study, among which 66 gauges locate in the Yellow River Basin, while the other 62 gauges located near the YRB and were used as reference (Fig.1).

Indices of extreme events

On detecting the changes of extreme precipitation events, we were considering the changes of intensity, frequency, duration and timing of the events. Indices regarding to these aspects were defined as following:

- *N-Pmax*, maximum precipitation amount of *n* continuous rain days per calendar year, with *n* equal to 1, 7, 15, 30, 60 and 90;
- *MRI*, average rainfall intensity of the calendar year, considering rain days only;
- *NRI*, number of rain days, i.e. number of days with precipitation amount larger than 0.1mm/day;
- *DWmax*, maximum duration of wet spell, i.e., number of contiguous rain days;
- *DDmax*, maximum duration of dry spell, i.e., number of contiguous days without

- precipitation;
- $N\text{-Dmax}$, occurrence day of the n -day maximum;

Trend test

The linear regression is adopted herein to detect the linear trends of extreme precipitation events in the Yellow River Basin. For the interpretation of the significance of the results, the trend-to-noise ratio (β/σ) in the form of a t-test of the regression coefficient was used (Kottegoda, 1980), where β is the coefficient of the linear regression function representing the average annual change while σ is the standard error. If $|\beta/\sigma| > t_{\alpha}(40)$, the linear trend hypothesis is accepted. At the significance level of $\alpha=0.05$, $t_{\alpha}(40)=2.021$; while $t_{\alpha}(40)=1.684$ with $\alpha=0.1$.

Results

Trends of intensity

Large amount of precipitation in 1-day or multiday may cause serious flood disaster in the Yellow River Basin. Besides that, heavy storm rainfall plays an important role in soil erosion in the arid or semi-arid region. In this research, maximum precipitation series with n continuous day have been retrieved from the above dataset. It was found there were general agreements among the tendency of 7Pmax, 15Pmax, 30Pmax and 90Pmax. Therefore, only the tendency of 1Pmax and 7Pmax are discussed herein.

From 1961 to 2000, the maximum 1-day precipitation tends to decrease in most part of the Yellow River Basin, except north part of Ning-Meng Region (sub-basin 4) and south part of Weihe Basin (sub-basin 7) (fig.1). However, the decrease trends of the 1-day precipitation are not statistically significant except the headwater (sub-basin 1) and middle reaches (sub-basin 5) of the Yellow River. In these two regions, the decreasing rate can be as large as 0.9mm/a, which indicates that during the 40 years from 1961 to 2000, the maximum 1-day precipitation had decreased about 36mm. The decreasing tendency of maximum 7-day precipitation is much more significant in these two regions, with the decreasing rate of 1.3mm/a. Meanwhile, the spatial distribution of the decreasing tendency had extended to wider area including south part of sub-basin 7

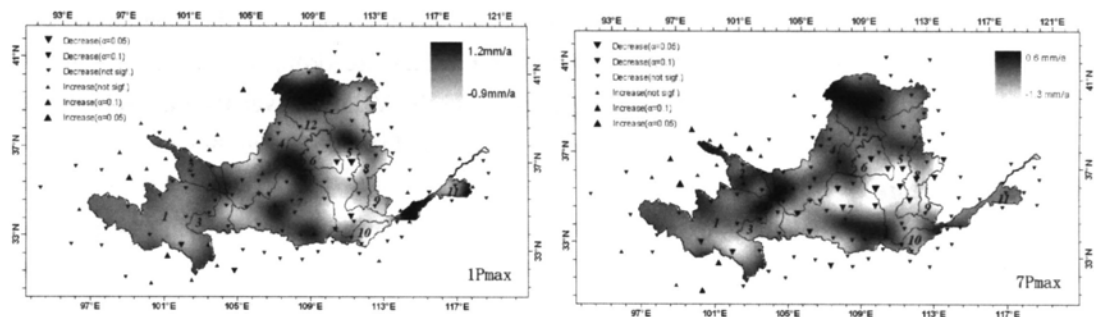


Figure 2 Long term trend of maximum precipitation amount of n continuous days in the Yellow River Basin: 1Pmax/7Pmax (left/right)

The spatial patterns of long term tendency of mean precipitation intensity (MRI) is different to that of the $N\text{-Pmax}$ series (fig.2). Figure 2 shows that the MRI tends to increase in most region located at the east of 104°E , though the increasing tendency is only significant at south part of sub-basin 5, east part of sub-basin 7, north and south-west part of sub-basin 4. The increasing rate of these region is about 0.09mm/a.

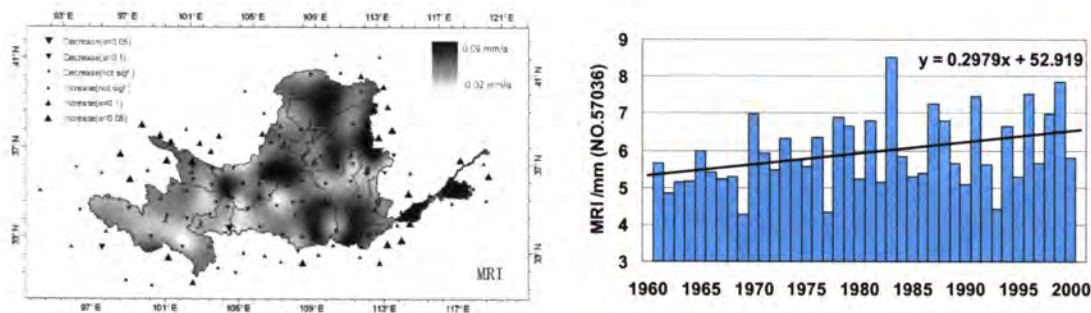


Figure 3 Long term trend of mean precipitation intensity in the Yellow River Basin: 1961-2000

Changes of frequency

Since 1961, number of rain days has decreased significantly almost everywhere in the Yellow River Basin (fig.4). The middle reaches of the Yellow River Basin, including sub-basin 5, 6 and 7, has shown the largest decrease of rain days with the maximum decrease of rain days can be about 48 days during the 40 years (fig.4, taking gauge NO.54826 for example). The place with significant increasing rain days is the north-west part of the headwater (Maduo, gauge NO.56033), of which rain days has an increasing rate of 1.2days/a.

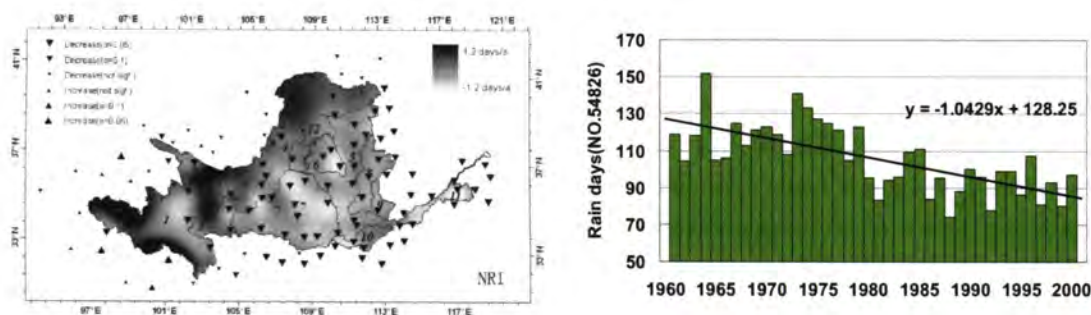


Figure 4 Long term trend of precipitation days in the Yellow River Basin

Trends of duration

The duration of wet/dry spell is practically meaningful for water resources management. In 1997, the long duration of zero flow in the lower reaches of the YRB had caused serious great economic losses and ecological disaster as well. The investigation on the trend of the duration of wet spell shows that there were significant decreasing tendency of the maximum length of wet spell in the YRB since 1961 (fig.5). In areas such as the eastern part of sub-basin 1 and sub-basin 11, the decreasing rate can reach to -0.2-0.4 days/a (for example, gauge NO.56065 in the sub-basin 1, fig.5).

As for the duration of dry spell, meanwhile, there were widely increasing trend in the east of 104°E but significantly decreasing trend has been found in the headwater of the YRB (fig.5). The decreasing rate of DDmax in the headwater can be around -0.5days/a. Sub-basin 4, 5, 6 and 11 are regions with significant increase of DDmax with about 20-30 days increase in the 40 years (fig.5, NO.53810 for example).

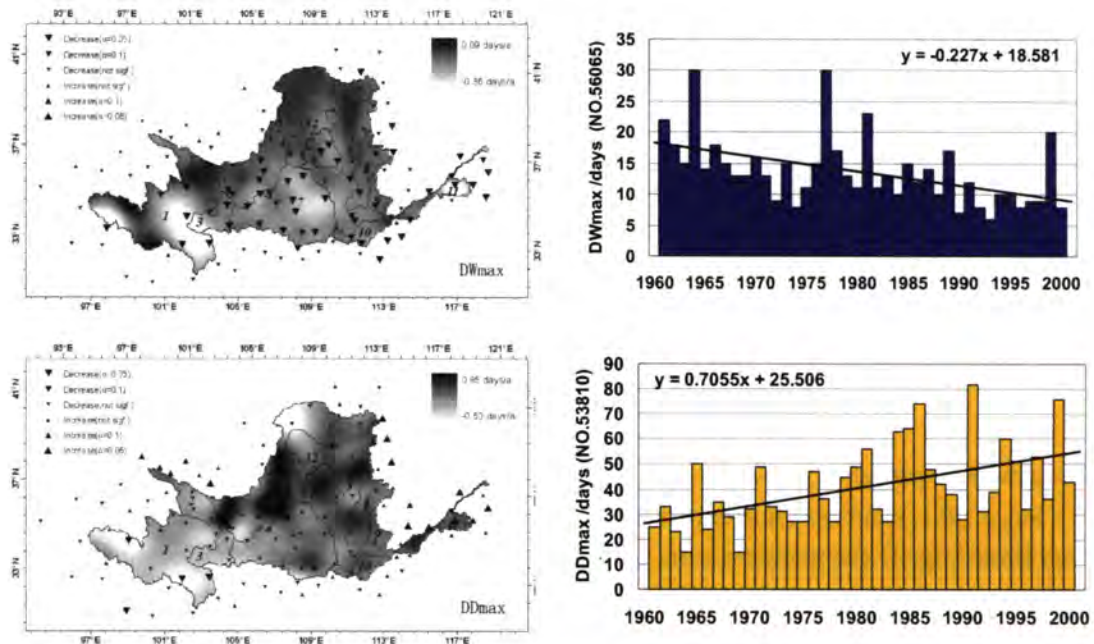
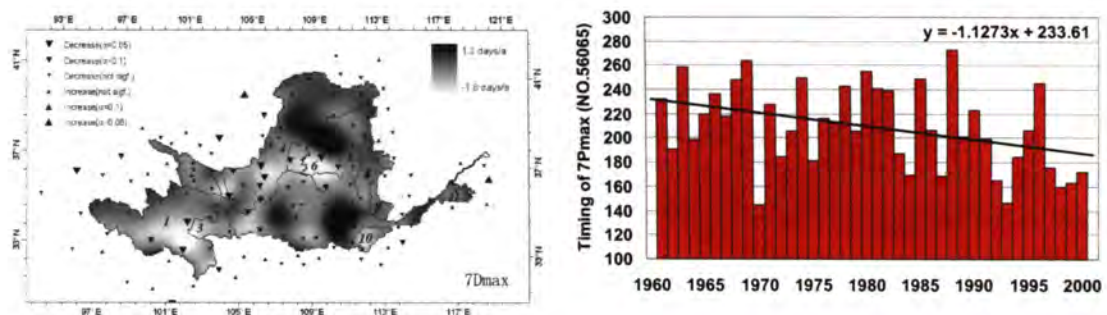


Figure 5 Long term trend of duration wet/dry spell (above/bottom) in the Yellow River Basin

Shifts of timing

The occurrence date of maximum precipitation of n continuous days (i.e. N-Pmax) was taken under consideration in this research. For the 7Dmax series, there is a widespread decreasing in the YRB, which means the timing of the extreme precipitation events tended to be some days earlier in the past 40 years (fig.6). Regions with statistically significant decrease of 7Dmax were sub-basin 1, 4 and 6, where the timing of the extreme event had become about 20-40 days earlier during the period (fig.6, taking NO.56065 as an example). The decreasing tendency of timing of 90Dmax series was much more significant in the YRB with special attention to sub-basin 2, 4, 6, 7 and 11 (fig.6). The occurrence date of maximum precipitation in 90 continuous days became about 20-40 days earlier almost in the YRB as a whole.



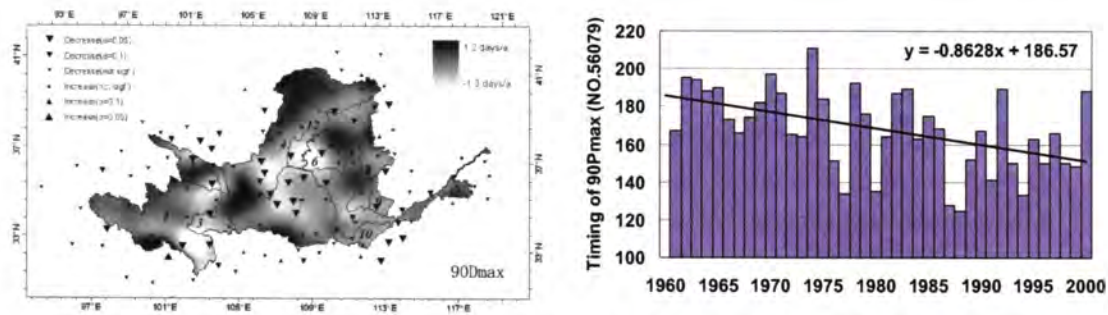


Figure 6 Timing shifts of the extreme precipitation events in the YRB: 7Pmax/90Pmax (above/bottom)

Conclusions

This research have investigated long term trends of extreme precipitation events in the Yellow River Basin from 1961 to 2000, considering changes of intensity, frequency, duration and timing. For the YRB as a whole, there were general decreasing tendency of maximum precipitation of n continuous day (N-Pmax), precipitation days (NRI), duration of wet spell (DWmax) but increasing in mean precipitation intensity of rain days (MRI), duration of dry spell (DDmax). The timing of N-Pmax had become 20-40 days earlier during the 40 years from 1961 to 2000. Spatially, the headwater (sub-basin 1) and middle reaches of the YRB (including subbasin 5, 6 and 7) had the most significant changes of extreme precipitation events, which may have great hydrological impacts of the whole basin.

Acknowledgement

This study was supported by the Yellow River project of Research Institute for Humanity and Nature (RIHN), Inter-University Research Institute, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan and Chinese National Key Project (G19990436-01).

References

- Easterling, D.R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., Merns, L.O., 2000. Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science*, Vol.289: 2068-2074.
- Fu, G., Chen, S., Liu, C.M., Shepard, D., 2004. Hydro-Climatic Trends of the Yellow River Basin for the Last 50 Years. *Climatic Changes*, Vol.65:149-178.
- Hare, W., 2003. Assessment of knowledge on impacts of climate change – contribution to the Specification of Art. 2 of the UNFCCC Potsdam, Berlin. <http://www.wbgu.de/>
- Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L.M., Demuth, S., 2001. Have streamflow droughts in europe become more severe or frequent? *Int. J. climatol.* 21: 317–333. Doi: 10.1002/Joc.619
- IPCC, 1995. *Climate Change 1995: The science of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Karl TR, Nicholls N, Ghazi A. 1999. CLIVAR:GCOS:WMO workshop on indices and indicators for climate extremes. *Climatic Change* 42: 3–7.
- Kottegoda, N.T., 1980. *Stochastic water resources technology*, The MacMillan Press LTD.

- Liu, C.M., Zeng, Y., 2004. Changes of pan evaporation in the recent 40 years in the Yellow River Basin, *Water International*, 29, 510-516.
- Liu, C.M, Zheng, HX. 2002. Hydrological cycle changes in China's larger river basin: the Yellow River drained dry. In *Climatic Change: Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management*, Beniston M. Kluwer Academic Publishers:209-224.
- Manton M.J., P.M. Della-Marta, M.R.Haylock, et.al., 2001.Trends in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the south Pacific:1961-1998. *International Journal of Climatology*, Vol.21: 269-284.
- McCarty, J. P. , 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology* 15(2): 320-331.
- Mearns, L. O., Rosenzweig, C., Goldberg, R., 1997. Mean and Variance Change in Climate Scenarios: Methods, Agricultural Applications, and Measures of Uncertainty. *Climatic Change* Vol.35(4): 367-396.
- Nicholls, N., Murray, W., 1999. Workshop on indices and indicators for climate extremes: ASHEVILLE, NC, USA, 3-6 June 1997 breakout group B: precipitation. *Climatic change* 42: 23-29.
- Rosenzweig, C., Parry, M., 1994. Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, Vol.367(6459): 133-138.
- Stocker, T.F., Raible, C.C., 2005. Water cycle shifts gear. *Nature*, Vol.434: 830-833.

黄河中流域への水文・水資源モデルの適用 —人間活動の影響—

佐藤嘉展・松岡真如・福嶋義宏（総合地球環境学研究所）
馬 燮銚（地球環境フロンティア研究センター）

1. はじめに

黄河のような大規模河川流域の流出特性を把握するためには、自然要因だけでなくダム操作や灌漑取水といった人為的な要因も考慮する必要がある。本研究では黄河流域を図1のように区分し、チベット高原から唐乃亥までを源流域、唐乃亥から頭道拐までを上流域とした。さらに上流域は唐乃亥から蘭州までの区間（上流域1）と蘭州から頭道拐までの区間（上流域2）にわけて解析した。これまでに、源流域については、従来の水文・水資源モデル(SVAT-HYCY model ; Ma et al., 2002)を適用することにより、自然要因のみに規定される黄河源流域の流出特性を良好に再現できることを確認し、上流域1については、劉家峡ダムと竜羊峡ダムによる人為的な流量調節効果を、上流域2については、青銅峡灌区と河套灌区による河道からの人為取水の効果を考慮したモデルを構築することにより、実測流量を良好に再現できることを明らかにした。ここでは、土地利用形態、土壌水分（乾燥）条件による蒸発抑制、灌漑地域（期間）の蒸発の影響をより厳密に反映できるように従来の水文・水資源モデルの構造を改良し、それを1960年以降の黄河中流域までモデル適用域を拡大した結果について報告する。

2. モデルの概要

図2に本研究で用いた水文・水資源モデルの概要を示す。このモデルは1960年から2001年までの1度グリッド単位の日単位気象データ（気温・水蒸気圧・風速・降水量・日照時間）から、熱収支計算により地表面温度を求め、そこからポテンシャル蒸発量: E_p (近藤・徐;1997)を算出し、衛星土地利用判別データから土地被覆を5タイプ（裸地・草地・森林・灌漑地・水面）に区分し、土地被覆区分ごとの実蒸発散量: E は、葉面積指数(LAI)と土壌体積含水率(θ)の関数形で表現することによって求めた。なお、灌漑地では、灌漑期間中は常にポテンシャル蒸発となるようにし、不足水分（蒸発散量から降水量を差し引いた残差）は河道から取水して補うようにした。河道流出量は、0.1度グリッド単位で計算され、各支流から流入した日流量を積算し、唐乃拐、蘭州、頭道拐、三門峡、花園口の5地点において計測されている月単位の実測流量との比較に用いた。各地点における実測流量と計算流量との比較結果を以下に示す。

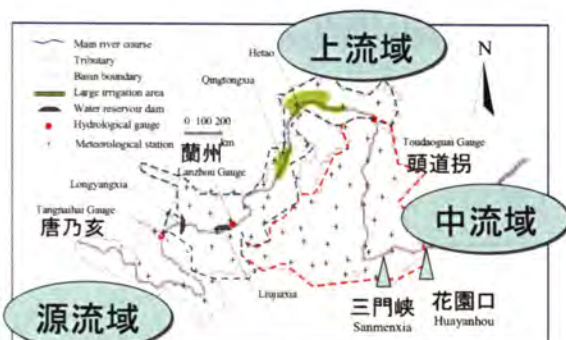


図1 黄河流域の概要

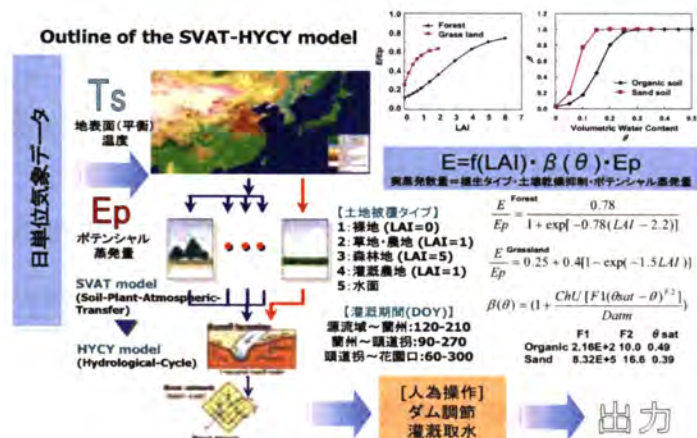


図2 水文・水資源モデルの概要

3. 源流域（唐乃亥）

黄河源流域では、流域内の90%以上が草地であり、ダムや大規模な灌漑農業による人為的な流量操作は行われていない。1960年から2001年までの年平均降水量505.3mmに対し、モデルによる実蒸発散量の計算値は約300mmとなり大きな年変動は見られなかった。このため、推定流出量は、年単位の降雨量の変化パターンによく対応し、月別ハイドログラフも実測流量ともよく一致する結果が得られた(図3)。

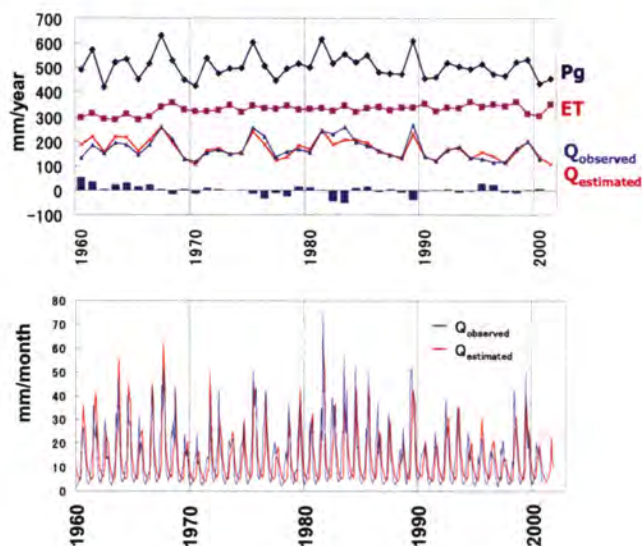


図3 源流域（唐乃亥）水収支

4. 上流域1（蘭州）

黄河上流域の唐乃亥から蘭州までの区間には、1969年から運用を開始した劉家峡ダム（56.6億t）や1987年から運用を開始した竜羊峡ダム（247億t）といった大型のダムが設置されており、流量が人為的に操作されている。しかし、ダムによる流量操作は、河道流量の季節配分を変えるのみで、年間の水収支には影響を与えない（図4中段）。図4上段は、ダムによる操作が行われていない1968年以前と、劉家峡ダムが運用を開始した1969年以降、および竜羊峡ダムが運用を開始した1987年以降の蘭州における実測月流量の変化を示している。この図から、ダムが運用されることによって、流量パターンが自然条件のパターンとは大きく変化することがわかる。そこで、このダムによる人為的な流量操作の影響をダムの運用段階別にモデル化した結果（Sato et al., 2004）、実測流量の変化を良好に再現できた（図4下段）。

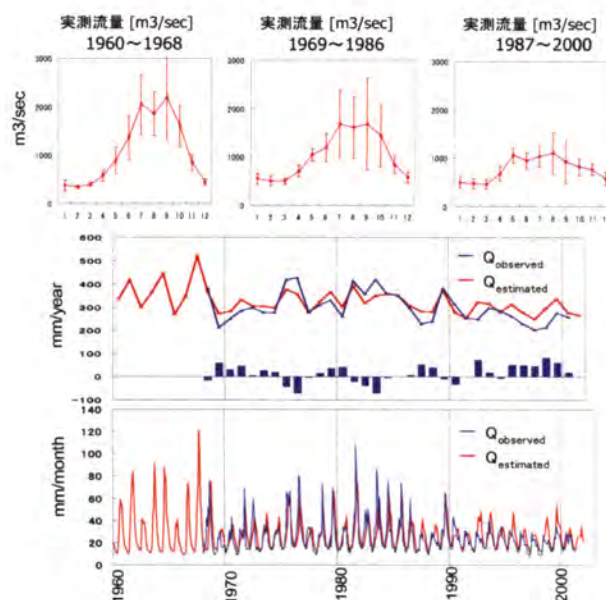


図4 上流域1（蘭州）水収支

5. 上流域2（頭道拐）

蘭州から頭道拐までの間では、年平均降水量(1960-2001)が266.2mmしかないにもかかわらず、青銅峡と河套で大規模な農業生産を行うために河道から大量の水を人為的に取水(灌

溉)している。各灌漑農地の正確な取水量が明らかではないため、ここでは上流側(蘭州)からの河道流入量(頭道拐到達流量)と区間降水量の和(入力水量)から頭道拐流量(実測値)を差し引いた値が「区間損失量=蒸発散による水分損失量」に相当すると仮定して、その変化パターンを調べた(図5上段)。図から晩春と晩秋に明確な損失のピークがあることがわかる。これは実際の灌区における春と秋の灌漑取水パターンに対応しているが、実際の取水時期はこの図のピークの位置より少し早くなる(この図は頭道拐での水収支として算出しているため)。また、春先の損失量が徐々に増加していることもわかる。ここでは、「入力水量」からこの「区間損失量」を差し引くことによって頭道拐流量を推定したが、このような単純な推定でも、年収支・月変化ともに実測値とよく一致することがわかった。区間損失量の年平均値(約100億t)は、青銅峽灌区と河套灌区における損失量(=取水量-排水量)が71.4億tであり、両灌区の灌漑面積の合計が、この区間全体の灌漑面積の60%以上を占める(表1)ことを考慮すれば、妥当な値と思われる。

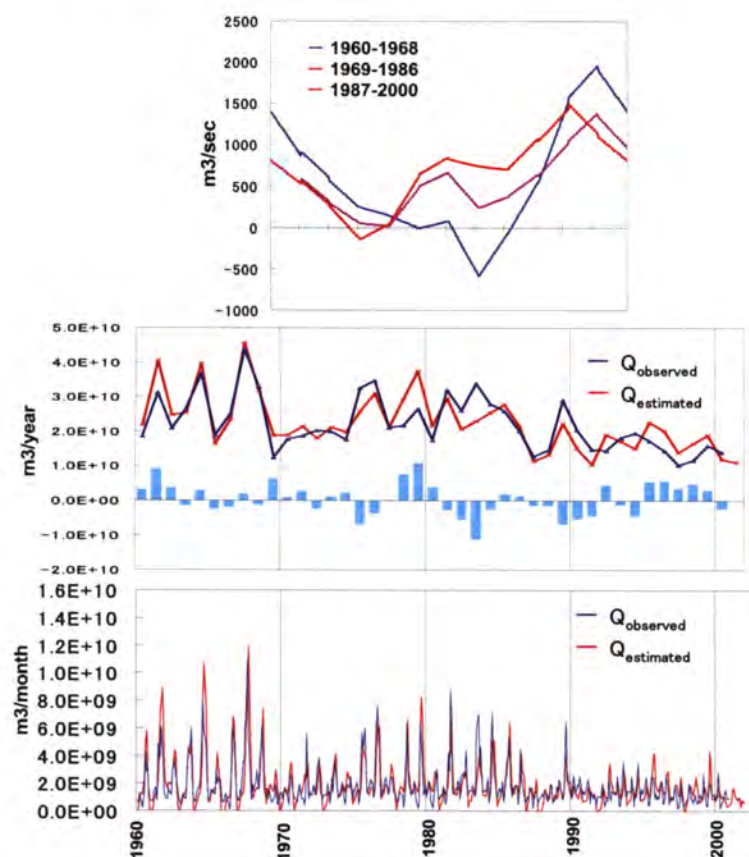


図5 上流域2(頭道拐)水収支

表1 上流域2灌漑面積

	青銅峽灌区	河套灌区	その他	区間(蘭州~頭道拐)全体
灌漑面積(衛星判別)	40.1万ha 24.1%	60.6万ha 36.4%	65.8万ha 39.5%	166.5万ha 100%
灌漑面積(統計資料)	33.0万ha	57.6万ha		
取水(統計資料)	62.0億t	50.0億t		
排水(統計資料)	35.3億t	5.3億t		
取水-排水(統計資料)	26.7億t	44.7億t		

6. 中流域 1・2 (三門峡・花園口)

図 6 および図 7 は、黄河中流域 (三門峡・花園口) へ、今回構築した新しい水文・水資源モデルを適用した結果を示す。図から三門峡および花園口ではモデルによる計算流量が実測流量よりも常に過大となることがわかった。図上段に示す年水収支の結果から、この区間ではすでに降水量の 80~90% を蒸発させており、これ以上蒸発させることはできない。このことは、黄河中流域においても河道から灌漑農業のために取水が行われていることを示唆している。今回中流域に適用したモデルでは、中流域区間では河道からの灌漑取水はないものとしてシミュレーションを行ったが、今回の結果を踏まえ、今後は中流域に適用するモデルにも河道からの灌漑取水の影響を考慮するようにする予定である。

7. おわりに

黄河中流域へ水文・水資源モデルを適用するために、以下の課題に取り組んだ。(1)流域内 5 地点 (唐乃拐, 蘭州, 頭道拐, 三門峡, 花園口) の流出特性の再現, (2)モデルへの衛星土地利用判別データの組み込み, (3)モデルへのダム操作・灌漑取水効果の組み込み, (4)乾燥に伴う蒸発抑制モデルの改良, (5)入力気象ステーション数の増加 (76→116), (6)解析対象期間の延長 (1980 年〜→1960 年〜), (7)ポテンシャル蒸発を基準とした実蒸発散量の算出。新しく構築したモデルによるシミュレーションの結果、黄河源流域は自然要因のみ、上流域は人間活動の影響 (ダム操作・灌漑取水) を考慮することで、河道流出量を良好に再現できることが確認できた。黄河中流域については、河道からの取水効果を考慮したモデルを適用することによりモデルの再現性が向上することが示唆された。

参考文献

- 近藤純正・徐 健青(1997): ポテンシャル蒸発量の定義と気候湿潤度. 天気, 44, 875-883.
 Ma X. and Fukushima Y. (2002): Numerical models of river flow formation from small to large scale river basin. In Mathematical models of large watershed hydrology, Singh VP, Frevert DK(eds). Water Resources Publication: Highland Ranch, Co;433-470.
 Sato Y., Ma X., Matsuoka, M., Hoshikawa, K., Fukushima Y. (2004): Runoff formation and runoff control system in a source area of the Yellow river basin. Proceedings of 2nd international workshop on Yellow river studies, Nov. 8-10 2004 Kyoto, 95-98.

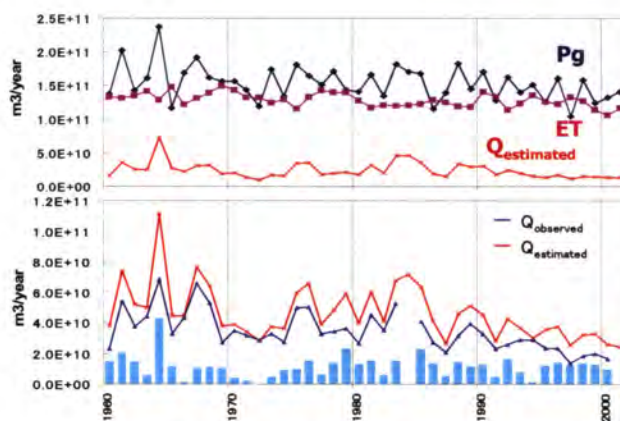


図 6 中流域 1 (三門峡) 水収支

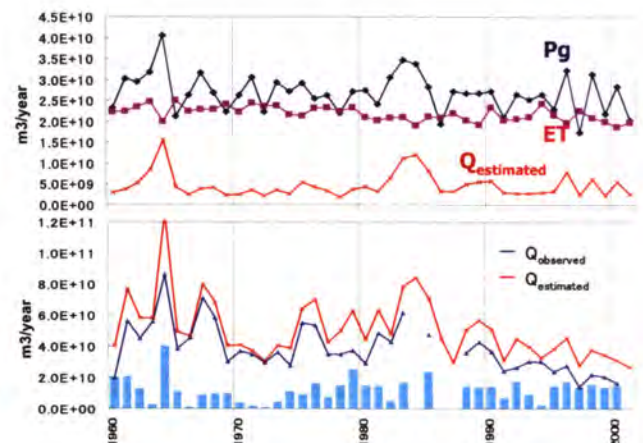


図 7 中流域 2 (花園口) 水収支

黄河下流域における水利用および影響圏について

陳建耀（中山大学）、福嶋義宏・谷口真人（地球研）

概要

黄河下流域というのは花園口から利津までに定義され、行政面積が四万四千平方キロメートルで、人口が約二千五百万だ。下流域には、黄河取水による灌漑が約百九十三万ヘクタールに実施され（図1）、灌漑地から排水のため、取水による黄河の影響範囲は本流域に限らず、淮河・海河に達する（図2）。



図1 黄河流域概略図と灌漑農地の分布図

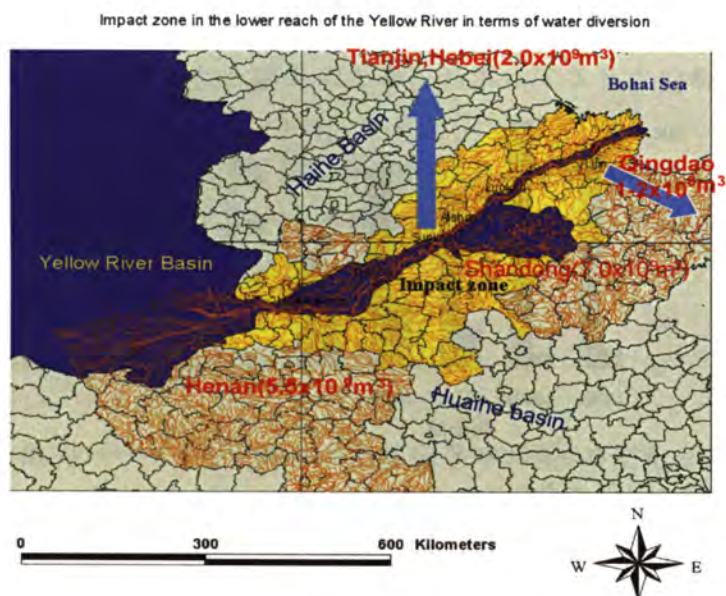


図2 黄河取水からみる影響範囲（黄色は影響されている県を、矢印は長距離天津と青島への送水を示す）。

過去 3000 年に大きな決壊による黄河流路変動が 26 もおこっている。したがって影響範囲が幅広く、北には渤海まで南には黄海に及んでいて、面積が約 25 万平方キロになる（図 3）。近年色々な堤防の建設によって、洪水の影響範囲が約 12 万平方キロに減らされたという。

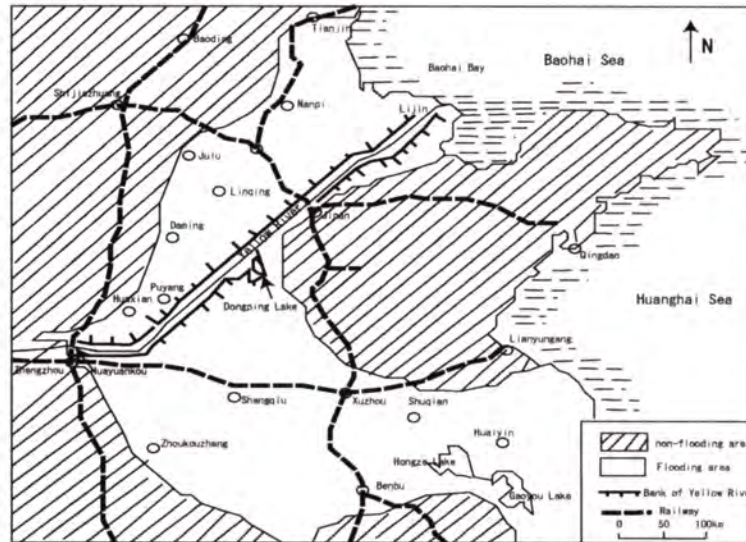


図 3 史上黄河決壊による影響範囲

下流域には、支流がほとんど存在しないため、花園口と利津の流量差によって取水量が推定され、年代ごとの変化が図 4 に記されている。花園口の流量が減少する一方、取水量が増え、その比率が 60 年代から 90 年代まで急に増加する。つまり、90 年代に頻繁に出現した断流問題がこの比率の増加に繋がると考えられる。

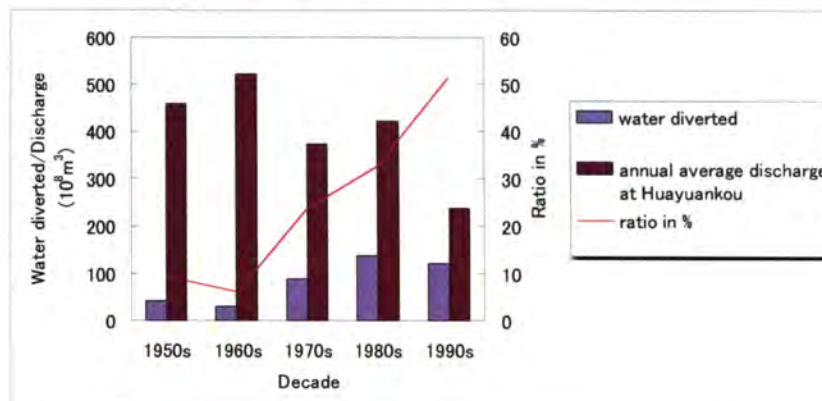


図 4 約 50 年間に推計された黄河取水量の変化

本文に関して詳しくつぎの論文をご参考ください：

Chen JY, Fukushima Y, Taniguchi, M, 2005. Water use and its impact zone in the lower reach of the Yellow River. In Proceedings of the 2nd Yellow River Forum on keeping healthy life of the river, Volume 1, Shang H (ed). The Yellow River Conservancy Publishing House, Zhengzhou: 97-106.

温暖化問題と都市気温－黄河流域気温データの解析

徐 健青 本谷研(地球環境フロンティア) 近藤純正(東北大学名誉教授)

1. はじめに

大気中の二酸化炭素濃度の増加によって地球が温暖化しているといわれている。日本および世界中で観測された気温データを見ると、確かに上昇傾向となっている。しかし、100年間以上にわたって気温が観測されてきた気象観測所の多くは都市にある。近年の都市は人口の密集化、人工熱の増加、植生面積の減少、道路の舗装など、いわゆる都市化されており、気温データは地域的に狭い範囲しか代表しなくなった。つまり、都市では全球的なバックグラウンドとしての地球温暖化とは別のプロセスによって気温が上昇している。この影響は都市計画的な発展の歴史を持つ欧米諸国よりも急速な経済発展と人口過密に特徴付けられる地域(例えば日本・中国を含むアジア地域)ではより大きいと想像できる。

こうした背景から、都市温暖化の影響を除外した、地球全体の地上気温の上昇傾向を正しく再評価すべきである。そのため、本研究では陽だまり効果に注目した解析を行い、気温資料に都市化の効果がどれだけ含まれているかを判断する新しい方法について示した。つまり、年(極値)最低気温の経年変化による解析、長期にわたる観測環境の変化を考慮した年平均気温による解析を行った。ここで言う田舎観測所とは、大部分は気象官署ではない田舎にあって、周辺も広く開けている理想的な気温観測所のことである。以上の解析の結果から、a)長期の気温観測には、これまで言われてきた以上に都市化などの別の原因による気温変化バイアスが含まれること;b)郊外の観測点であっても気温観測点近傍の環境如何によっては大きな温度上昇バイアスを生じることが明らかになった。ここでは中国黄河流域の1950年代から2001年まで、77箇所での日々のルーチン気象データから、年平均気温と年最低気温の極小値の変化率などを計算し、これらの地点の都市化或いは“陽だまり効果”のについて検討した。参考のため、日本、アメリカの解析結果も示した。

2. 方法

気温観測点の周囲環境変化により、グローバルな気温変動とは異なる極めてローカルな気温変動を含むことがある。以下にローカルな気温変動の原因について主なものを列挙する。

(a)都市化によるもの

- (1)建物など地物による天空率の減少
- (2)人工廃熱の増加
- (3)地表面付近の熱的パラメータ(熱容量と熱伝導率の積)の変化
- (4)その他(植生地減少、地上付近の乱流の変化)

(b)陽だまり効果

観測点周囲の地上数メートル以下の高度における風が地物によって弱められ、気温・地温(特に顕著)が高くなる現象を指す。上a(1)の遮蔽が効かない場合やa(2)の人工熱が小さい場合でも生じる点で、aの都市化の影響と区別した。都市ヒートアイランド現象と異なる点は、郊外・過疎地においても陽だまり効果が起こる場合があることである。

ところで、最低気温の極値を記録するのは冬季の晴天静夜などに理想的な放射冷却が起

こるときだと考えられる。都市化による気温変化としては日中の都市ヒートアイランドによる気温上昇が最も有名であるが、都市化によって a(3) の熱的パラメータが大きくなる場合には a(1) - (3) により、晴天静夜における理想的な放射冷却が起き難くなるので年最低気温(極値)の上昇もまた顕著になる。こうした一例として Fig. 1 に旭川における年最低気温(極値)の時系列を示す。旭川では 1902 年に -41°C の最低気温を観測している。1889 年～1920 年頃には、年最低気温は平均的に -30 から -35°C 程度であったが、最近の年最低気温は -20°C ～ -25°C 程度となった。つまり年最低気温はここ 100 年間に 10°C も上昇し、同期間の年平均気温の上昇量をはるかに上回っている。旭川のような積雪地では都市化に伴い除排雪がより広範囲で行われるようになったことで地表面付近の熱的パラメータが大きくなったことも年最低気温が大きく上昇した一因と考えることが出来る。

そこで、ある場所での年々の最低気温(極値)の上昇量から、その場所での都市化の効果・陽だまり効果の程度を考察することが出来る。こうした目的で極値としての年最低気温の長期変化を解析する。

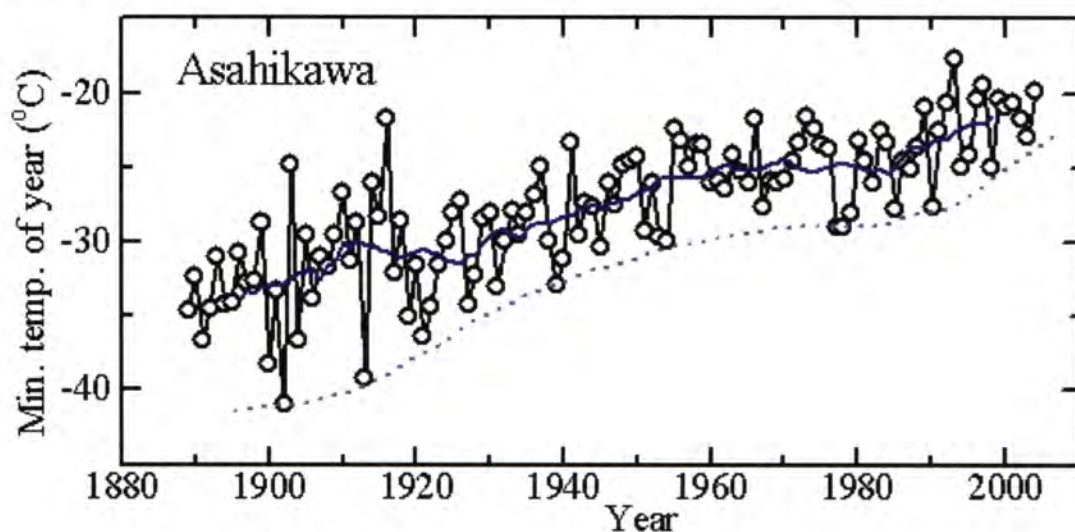


Fig. 1 旭川における年最低気温の経年変化。青実線は長期的傾向、青破線は数十年に 1 回の頻度で発生する極低温の出現傾向を示す。

データ：

中国気象局出版の「地面気象資料月報」^[2]である。使用したデータの項目は日平均・日最低気温、日平均風速である。

判断基準：

- ① 最低気温の年極小値の変化傾向は安定していること；
- ② 最低気温の年極小値の上昇傾向の幅は年平均気温の上昇傾向の幅より小さい；
- ③ 風速の年々変動が小さい。

これらの条件を満たせる観測所では都市化或いは“陽だまり効果”の影響が小さいと判断する。

3. 結果

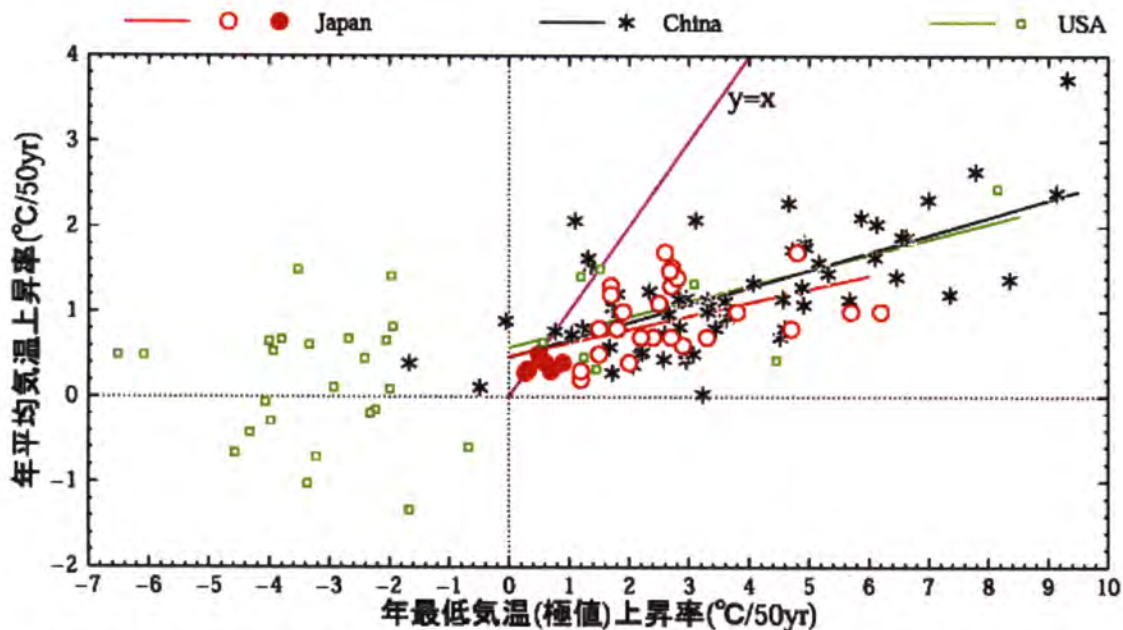


Fig. 2 中国黄河流域, 日本, アメリカにおける年最低気温変化, 年平均気温の傾き(線形回帰)の関係

Fig. 2 において各観測点の最低気温・平均気温の傾きの分布を示した. 100 年間に数度以下の小さい気温上昇があったとしても, 都市化など観測所の周辺環境が変わらなければ気温の日変化・年変化のパターンは変わらず, 年平均気温と最高・最低気温が同じ大きさに上昇すると思われる. その場合, 気温変化パターンは一定なので, 年平均気温と年最低気温の上昇率は一致することになる. したがってそうした地点は Fig. 2 の点線($y=x$)に乗ることになる. こうした地点では都市化による影響が小さいと考えられる. これに対してより多くの地点では, 最低気温の上昇量の方が平均気温の上昇量を上回っており, こうした地点では都市化による地物の増加などにより冬季晴天穏夜の放射冷却が弱まったと考えられる. 日本・中国について Fig. 2 中におけるプロットの全体の平均的傾向(回帰直線)の傾きは 0.12 から 0.2 程度になっている. これは最低気温の上昇量が平均気温のそれに比べ 5 倍から 8 倍であり, 最低気温が受ける都市化の影響は非常に大きいと言える. またこの回帰直線が縦軸を切る点(切片)は都市化の影響を平均して減じた場合のバックグラウンド的な温暖化量の目安となると考えられる. 切片は日本については $0.2^{\circ}\text{C}/50\text{yr}$ 程度, 中国でも $0.4^{\circ}\text{C}/50\text{yr}$ 程度となっていて, 温暖化による温度上昇量として一般に言われている値よりも小さくなっている. 北米についてはクールアイランド現象があり, これらから都市の影響がない場合のバックグラウンドな気温上昇は大きくとも 50 年間で 0.2 ないし 0.3°C 程度と解釈できるので, 都市化の影響を取り除いた場合これまで報告されていたよりも全球的な温暖化による気温上昇は小さくなるだろう.

陽だまり効果の場合は主に日中の最高気温を上昇させるように働くので平均気温上昇への寄与が大きいと予想される. この場合に気温日変化のパターンが変わらなければ, 最低気温と平均気温の上昇量はほぼ等しくなる. こうした地点は風速または地温の長期変化について精査することで陽だまり効果の程度を確認すべきである. ただし多くの場合陽だまり効果による平均気温変化は観測点周囲改変前後で 0.3 から 1.0°C にもなることから,

気温時系列のギャップと観測点周囲の改変情報を精査すれば確かめることができる。

中国黄河流域の多くの気象観測所では都市化や陽だまり効果が大きい。そのためデータを使用する観測所を選ぶことが重要である。すべての場所では、気温は上昇傾向である。ほとんどのところでは最低気温の年極小値は上昇傾向にある(下降傾向は3箇所のみ)。7割以上の場所では、風速(高さ10メートル)は減少傾向にある。年(極値)最低気温の上昇幅の大きいところでは年平均気温の上昇幅も大きい。年(極値)最低気温の年々変動幅は年平均気温の変動幅よりはるかに大きく、平均して年平均気温の上昇幅の約40倍になる。

都市化或いは“陽だまり効果”の影響を選別すると判断条件を表すパラメータを用いた解析によって調べた結果、全観測点77箇所のうち、都市化と“陽だまり効果”の影響が小さい観測所は全体の一割以下である。これらの場所で平均した年平均気温は1950年代から2001年までに約 $1^{\circ}\text{C}/100\text{yr}$ の上昇である。一方、都市化と“陽だまり効果”の影響を考慮せず、全データから得られた同期間の平均気温の上昇は約 $2.5^{\circ}\text{C}/100\text{yr}$ であった。つまり約 $1.5^{\circ}\text{C}/100\text{yr}$ 程度の上昇率が中国黄河流域の気温変化における都市化の影響の概略値と考えられる。ただし、ここでの上昇量とは単純に一次回帰式で気温変化を表した場合の傾きとする。中国の気象官署では都市化の影響が極めて大きいので、今後今回解析した地点以外の条件に合う観測所を探し出して解析する必要がある。自然の変動としての気温変化をより正確に抽出することが望まれる。

4. 主な参考情報

- [1] 近藤純正ホームページ, <http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu>
- [2] 「地面気象資料月報」, 中国気象局
- [3] Xu, J., S. Haginoya, K. Saito, and K. Motoya, 2005: Surface heat balance and pan evaporation trends in Eastern Asia in the period 1971-2000. *Hydrological Processes*, vol. 19, 2161-2186, DOI:10.1002/hyp.5668.

黄河域における放射収支の変動とその要因解析

河本 和明、早坂 忠裕（総合地球環境学研究所）

はじめに

放射収支は蒸発散や熱分配を決定することにより地球の気候・水文過程に大きな影響を及ぼしている。本研究は黄河流域におけるその 1980 年代初頭からの変動とその要因を明らかにすることを目標とする。地上における下向き短波放射フラックス密度（以後は短波放射と呼ぶ）に影響を与えるパラメータとしては雲、エアロゾル、水蒸気が考えられ、対象領域は黄河流域であるが本稿では紙面の制約から銀川(Yinchuan)の例を示す。要因パラメータの長期変動を比較した後に放射伝達コードを用いた放射量計算を行って各パラメータの寄与を定量的に調べるという手順を取るが、ここでは途中経過を示す。

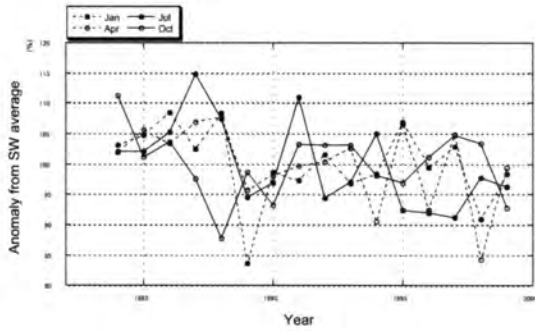
データ

本稿で使用したデータは以下の通りである。放射量は中国気象局によって収集された地上設置型の日射計、雲量(Acld)と雲の光学的厚さ(Tauc)は国際衛星雲気候計画(ISCCP)のプロダクト、水蒸気(可降水量)は ECMWF 客観解析データを用いる。エアロゾルについては長期間に渡って信頼性のあるデータが入手困難のため本稿では考えない。期間は衛星データが利用できる 1984 年から 1999 年までとした。また放射量の理論計算には東京大学気候システム研究センターで開発された rstar シリーズを用いた。

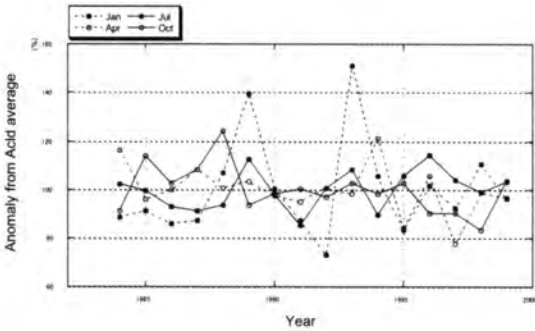
結果

まず各物理量の長期変動の様子を記述する。短波放射は太陽高度に大きく依存するため季節毎(1,4,7,10 月)に平均値からの偏差を調べることにした。短波放射、Acld, Tauc, 可降水量の変動をそれぞれ図に示す。短波放射は 88 年 10 月、89 年 1 月、98 年 4 月に減少、87 年 7 月、91 年 7 月に増加していること、Acld は 89 年 1 月、93 年 1 月に増加、92 年 1 月、97 年 4 月に減少していること、Tauc は 89 年 1 月、96 年 4 月に増加、86 年 1 月に減少し、かつ変化は概して大きいこと、可降水量は 98 年 4 月に増加、95 年 4 月、97 年 10 月に減少していることがわかった。例えばこの中で短波放射の 89 年 1 月の大きな減少は Acld と Tauc の増加が引き起こしている可能性が大きいことがわかるが、この情報だけでは要素間の寄与の大きさはわからない。そのため放射量の理論計算のためのコード整備を行った(可降水量の計算例を示す)。このように各物理量の変化による放射量の違いを求めて、各物理量の寄与を定量化することを試みる。エアロゾルについては既存の文献値等を用いて現実的な

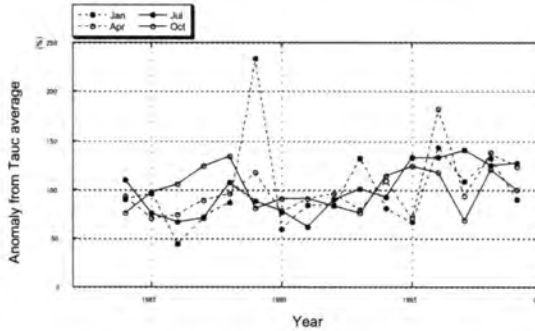
光学特性を入力する。今後の課題としては力学過程など総観気象場との関連性を考える必要がある。



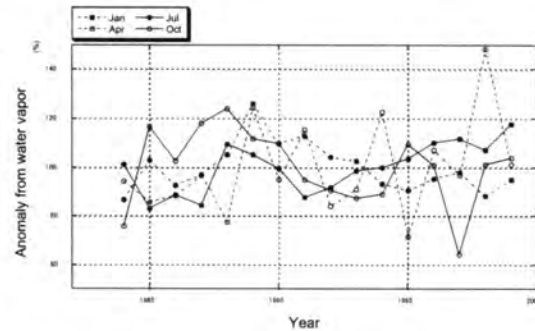
短波放射の季節毎の偏差



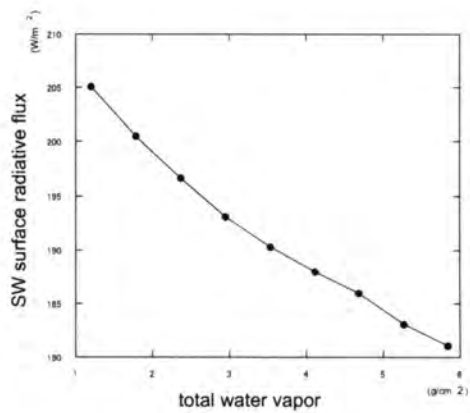
雲量の季節毎の偏差



雲の光学的厚さの季節毎の偏差



可降水量の季節毎の偏差



可降水量を変化させた場合の放射量の変化

中国における日射量の長期変動と地表面水収支の関係について

早坂忠裕¹、河本和明¹、徐 健青²、石 広玉³

1 総合地球環境学研究所、2 地球フロンティア、3 中国科学院大気物理研究所

本研究では、中国における日射量データの精度に関する解析と、そのデータを用いた長期変動について研究を行ってきた。日射量のデータは、その精度が問題になるが、GEBA(Global Energy Balance Archive)の方法によるチェックや衛星雲データからの計算値との比較の結果、一部のデータを除いて中国の気象官署で得られた日射量データは信頼できると思われる。その結果を受けて、現在、日射量の変動と地表面蒸発量との関係を調べている。以下に現在までに得られた結果を記す。

最近、グローバルスケールでの地表面日射量の長期変動が注目を集めているが、これは、1950年代末から1990年初め頃までは10年間で数 W/m^2 の割合で日射量の減少が見られ、その後増加に転じたという現象である。しかしながら、このような日射量の減少に対応する気温変化はなく、少なくとも1980～1990年の10年間には地表気温は上昇している。その矛盾の説明としては、大気中の水蒸気の増加によって地表面から蒸発する水分量が減少した可能性が指摘されている (Wild et al., 2004)。実際の地表面からの蒸発量を正確に推定することは難しいが、気象官署等での PAN 蒸発量はやはり同じ時期に減少しているという報告もある (Roderick and Farquhar, 2002; Ohmura and Wild, 2002)。もちろん、PAN 蒸発量と実際の地表面からの蒸発量は異なるものであるが、地表面や他の気象要素の状況が変わらなければ一般には日射量の増減は日射量と相関があるものと考えられる。

中国のほぼ全域をカバーする65箇所の日射計データを解析したところ、中国でも1990年頃までは日射量が減少している所が多く、その後は一部の領域では増加に転じ、一部では依然として減少していることがわかった。中国全体で平均すれば図1に示すように減少の後、1990年頃からは増加傾向が見られる。しかも、その変動は1960年過ぎから1990年頃までの約30年の間に 15 W/m^2 の減少という大きな値になっている。なお、図中の破線は65箇所の観測データのばらつきを標準偏差で表したものである。これらの中から、黄河領域の15箇所についてプロットしたものが図2である。図中の赤い四角で示したものが15箇所の平均であるが、この領域でも概ね中国全体と同じような変動があったことが分かる。西安 (Xian) では、

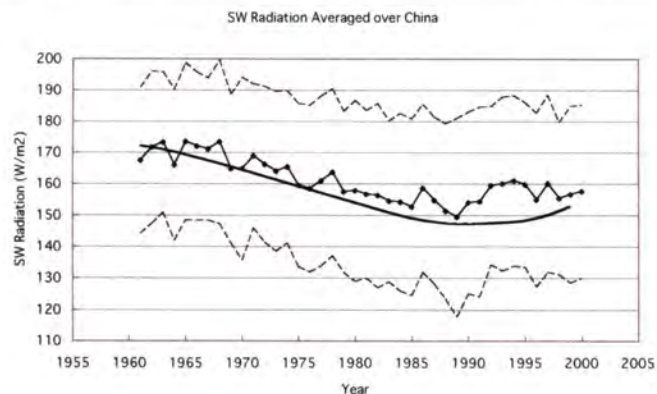


図1. 中国65地点の日射量の平均値の変動

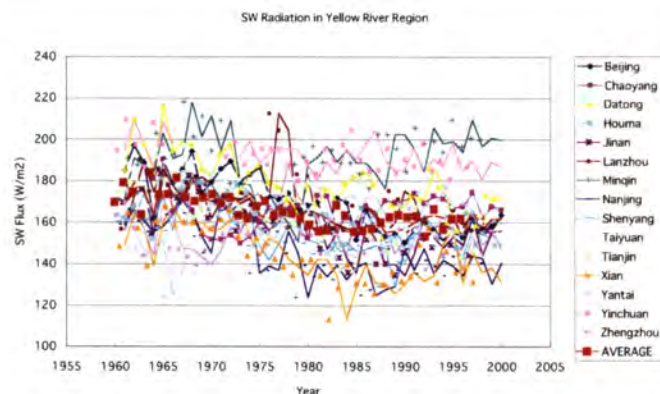


図2. 黄河領域における日射量の年平均値の変動

1960年頃から1990年頃にかけて約 20 W/m^2 も日射量が減少している。

日射量の変動の原因については、雲量、雲の光学的厚さ、水蒸気量、エアロゾルの光学的厚さなどが考えられ、放射計算による定量的な解析を行なった結果、雲の光学的厚さとエアロゾルの光学的厚さの変動が鍵を握っていると考えられる。雲量、雲の光学的厚さ、水蒸気量、エアロゾルの光学的厚さの平均値に対して、日射量の各パラメーターに対する感度を調べ、実際の変動幅からその影響がどの程度あるのかということ調べた。その結果、たとえば夏季の北京の場合には、エアロゾルの変動による影響は最大 10 W/m^2 、雲の光学的厚さの変動による影響は最大 20 W/m^2 程度になると見積られた。これらに対して、水蒸気による変化は 1 W/m^2 程度であることが示された。

一方、日射量に比べると観測点の数は少ないが、中国の気象官署30点におけるPAN蒸発量およびポテンシャル蒸発量の平均値を図3に示す。近似曲線をあてはめると日射量平均値の値と同様に、減少傾向の後、増加に転じたように見える。しかしながら、これらの観測点の地理分布を見ると、図4に示すようにPAN蒸発量の長期変化の傾向は1970年から2000年の間に沿岸部では減少しているが、内陸部では増加している所も多い (Xu et al., 2005)。ちなみに、変化傾向は30年間の線形トレンドを見たものであり、大きな黒丸が統計的に信頼できる観測点である。この傾向はグローバルな傾向とは異なるものであり、その理由はよく分からないが、極めて興味深い結果である。

このように、人為起源エアロゾルが日射量に影響を及ぼし、その結果、地表面蒸発量などに影響するわけであるが、今後は長波放射量や水蒸気の変動などと併せて解析を行い、日射量の長期変動の要因解析とともに気候へ及ぼす影響も含めて研究をまとめたい。

参考文献

- Ohmura, A. and M. Wild, 2002: Is the hydrological cycle accelerating?, *Science*, 298, 1345-1346.
- Roderick, M. L. and G. D. Farquhar, 2002: The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years, *Science*, 298, 1410-1411.
- Wild, M., A. Ohmura, H. Gilgen, and D. Rosenfeld, 2004: On the consistency of trends in radiation and temperature records and implications for the global hydrological cycle, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L11201, doi:10.1029/2003GL019188.
- Xu, J., S. Haginoya, K. Saito, and K. Motoya, 2005: Surface heat balance and pan evaporation trends in Eastern Asia in the period 1971-2000, *Hydrological Process*, 19, 2161-2186.

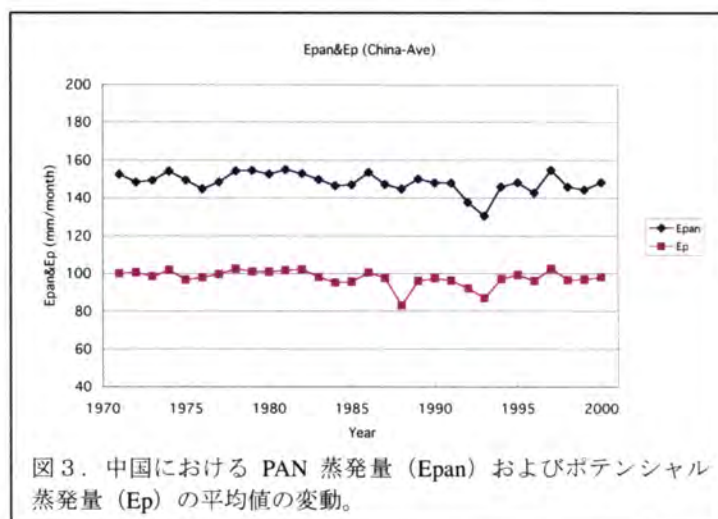


図3. 中国におけるPAN蒸発量 (Epan) およびポテンシャル蒸発量 (Ep) の平均値の変動。

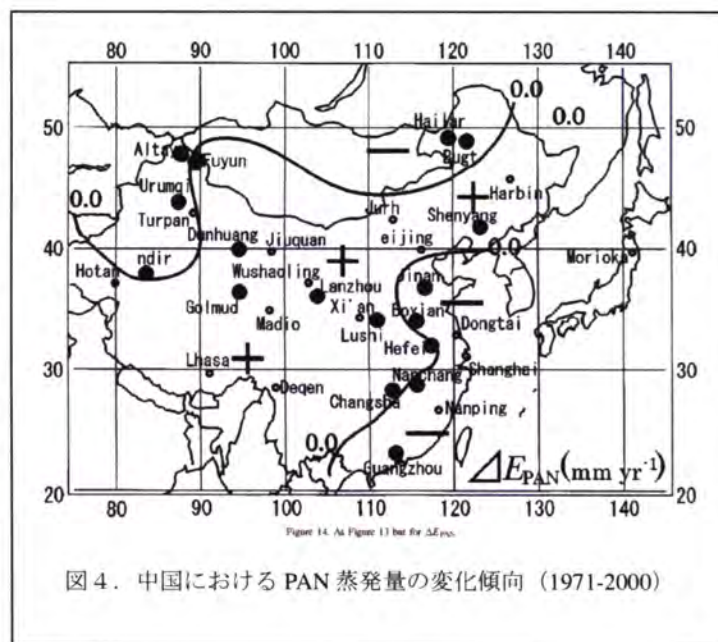


図4. 中国におけるPAN蒸発量の変化傾向 (1971-2000)

編集・発行 平成 18 年 3 月 15 日
大学共同利用機関法人 人間文化研究機構
総合地球環境学研究所
黄河プロジェクト 福 嶋 義 宏
〒603-8047 京都市北区上賀茂本山 457 番地 4
Tel : 075-707- 2230 Fax : 075-707- 2506
E-mail : YRIS@chikyu.ac.jp
ホームページ <http://www.chikyu.ac.jp/yris/>

