

黄河河口の地下水を含んだ水収支

林美鶴 (神戸大学 内海域環境教育研究センター)

柳哲雄(九州大学 応用力学研究所) 郭新宇(愛媛大学 沿岸環境科学研究センター)

1. 目的

2004年9月及び2005年5月に実施した黄河、黄河デルタ、黄河河口海域の一斉観測データを用いて、黄河河口海域の水・物質収支対する地下水の寄与を見積もる。この研究の目的の一つは、デルタ班の観測結果を利用しつつ海洋観測データから黄河河口海域での地下水湧出量や淡水の平均滞留時間を推定し、デルタ班やの観測値や既存の研究結果などと比較して、それらの有意性を検討することである。また、この様な検討を通じて、容易に直接測定できない地下水湧出量を、比較的入手可能な要素の観測データを用いて推定する手法を確立することも目的の一つである。

2. 地下水寄与の推定法

図1に示す様な、河川からの淡水流入があり、隣接海域と一断面で接する様な閉鎖性海域を一つのボックスと考える。また、一定時間内におけるボックス内の水・塩・TPの時間変動は、空間変動に比べ極めて小さいと仮定すると、この海域における水収支、塩収支、及びTP収支は以下の式で表せる。

$$\begin{aligned} V_Q + V_P + V_G - V_E - V_R &= 0 \\ V_X S_X - V_R S_i &= 0 \\ V_Q TP_Q + V_P TP_P + V_G TP_G + V_X TP_X - V_R TP_i &= 0 \end{aligned}$$

ここでVは流量($m^3 s^{-1}$)、Sは塩分、TPはTP濃度(μM)を表し、添え字はそれぞれ、Qは河川、Pは降水、Gは地下水、Eは蒸発、Rは隣接海域への流出、Xは隣接海域との交換、iはボックス内濃度を表す。 S_X と TP_X はボックスと隣接海域との塩及びTPの濃度差で、それぞれ以下の式で表される。

$$\begin{aligned} S_X &= S_o - S_i \\ TP_X &= TP_o - TP_i \end{aligned}$$

ここで、添え字のoは隣接海域での濃度である。

以上のパラメータのうち一般に実測困難な未知数は、地下水湧出量 V_G 、隣接海域への流出量 V_R 、及び隣接海域との海水交換 V_X の3つなので、3つの式の連立方程式からこれらの解を求める事が出来る。

地下水の寄与は以下の式の通り、河川流量 V_Q に対する地下水湧出量 V_G の割合 α_f と、河川からのTPフラックスに対する地下水からのTPフラックスの割合 α_{TP} で表現する。

$$\begin{aligned} V_G &= \alpha_f V_Q \\ V_G TP_G &= \alpha_{TP} V_Q TP_Q \end{aligned}$$

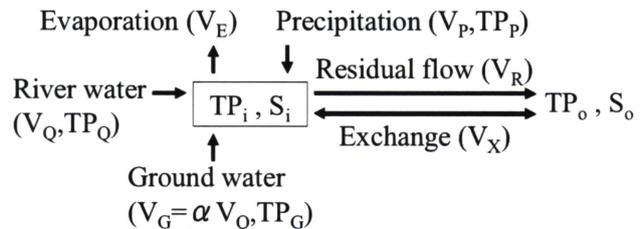


図1 水・物質収支

以上で求められた V_R と V_X を用いて、隣接海域と接する断面における平均的な流速 $U(m s^{-1})$ と拡散係数 $k(m^2 s^{-1})$ を以下の式から求めることが出来る。

$$U = V_R / F_v$$

$$k = V_X L / F_v$$

ここで F_v は断面積(m^3)、 L はボックスと隣接海域の距離(m)を示す。

さらに、それぞれの平均滞留時間を以下の通り求めることが出来る。

$$\tau_b = V_B / (V_X + |V_R|)$$

$$\tau_f = (V_B \frac{S_o - S_i}{S_o}) / V_f$$

$$\tau_{TP} = V_B TP_i / TP_f$$

τ_b は、ボックス内の水の平均滞留時間(s)を表す。 V_B はボックスの体積(m^3)である。また τ_f は淡水の平均滞留時間(s)を表し、河川、地下水及び降水で流入する淡水の合計 $V_f(m^3 s^{-1})$ がボックス内に滞留する時間(ボックス内の水が入れ替わる時間)である。同様に τ_{TP} は、ボックス外(河川、地下水、降水及び隣接海域)から流入する TP の合計 $TP_f(\mu Ms^{-1})$ が、ボックス内に滞留する平均滞留時間(s)(ボックス内の TP が入れ替わる時間)を表す。

3. 使用データ

観測時期を含む 2004 年 1 月～2005 年 9 月年に、黄河下流の利津で計測された河川流量を図 2 に示す。急激に流量が変動するのは、現在、黄河の流量が人為的に制御されているためである。観測が行われた 2004 年 9 月は黄河流量が多い時期を、2005 年 5 月は黄河流量が少ない時期を表現していると言える。図 3 に、解析・観測対象海域を示す。同時に、観測地点(洋上観測地点、黄河観測地点、NCEP 再解析地点、デルタ観測領域、地下水計測領域)と、2004 年 9 月に観測された表層塩分分布、及びボックスの境界線を示す。黄河流量が多かった時期には、黄河からの淡水が南部の菜州湾にかけて広がっていることから、この分布に基づいてボックスの境界線を決定した。境界線の長さは約 120km、境界線付近の水深は約 15m で、ボックスの表面積は約 10,000km²、平均水深は約 10m である。海洋での塩分の観測値は 1m 毎に得られているが、TP 濃度はおよそ 5m 毎にしか観測されておらず、また測点毎に水深が異なる。このため、水深に応じた加重平均によってボックス内外の平均塩分、TP 濃度を求めた。黄河河川水中の TP 濃度は、河川流量を計測したのと同じ利津で採水された分析値である。地下水中の TP 濃度は、黄河デルタ地帯の井戸などで採水された分析値である。蒸発・降水量は、NCEP 再解析データの渤海上の地点を用いて、観測月の一ヶ月平均値を求めた。大気からの TP 負荷量は様々に推定されているが、観測時の正確な値は解らないため今回はゼロとする。

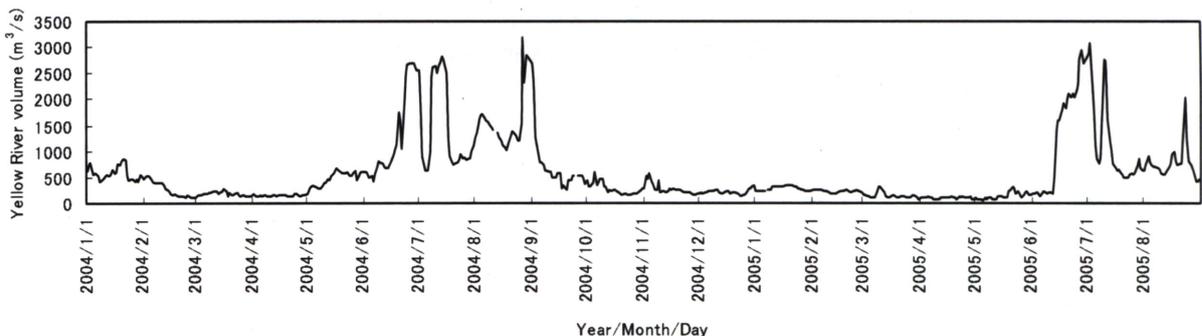


図 2 利津における黄河流量

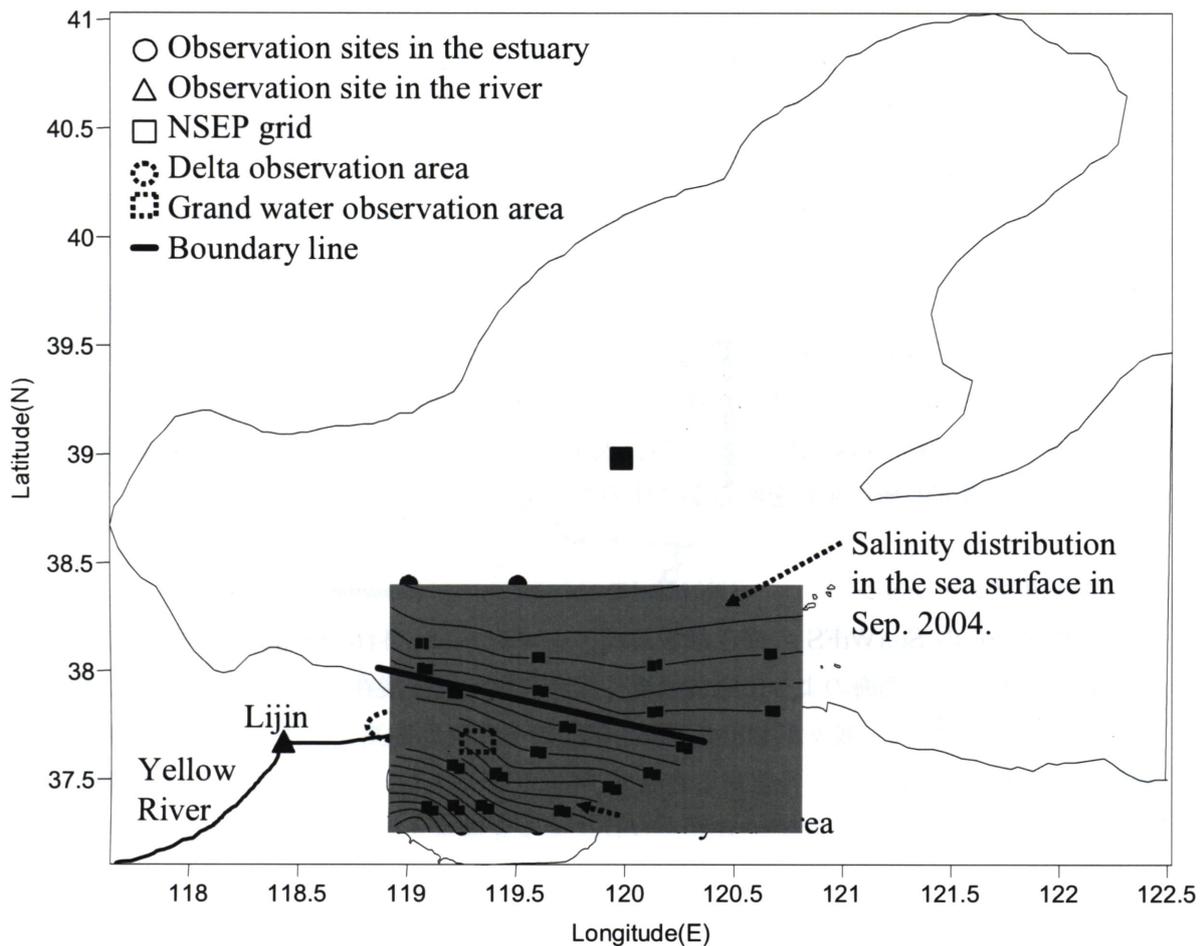


図3 解析海域

4 推定結果

研究会以降にデータの再検討を行った結果なので、ここではその結果を示す。図4に2005年5月の水・TP収支計算結果を示す。上段が水収支、下段がTP収支で、推定に用いた値と推定結果を示している。 α_f は5%、 α_{TP} は10%、 U は $1.92 \times 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ 、 k は $184 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 、 τ_b は259日、 τ_f は204日、 τ_{TP} は2,396日だった。これらの値を、今後、他の観測・推定結果や既存の研究結果との比較や、 α_f に対するTP濃度の観測値の感度を検討する。2004年9月の結果については、地下水中のTP濃度が計測されておらず、これまでに観測された地下水中のTP濃度の範囲で α_f を推定した結果、有意な結果が得られなかったため、ここでは割愛する。

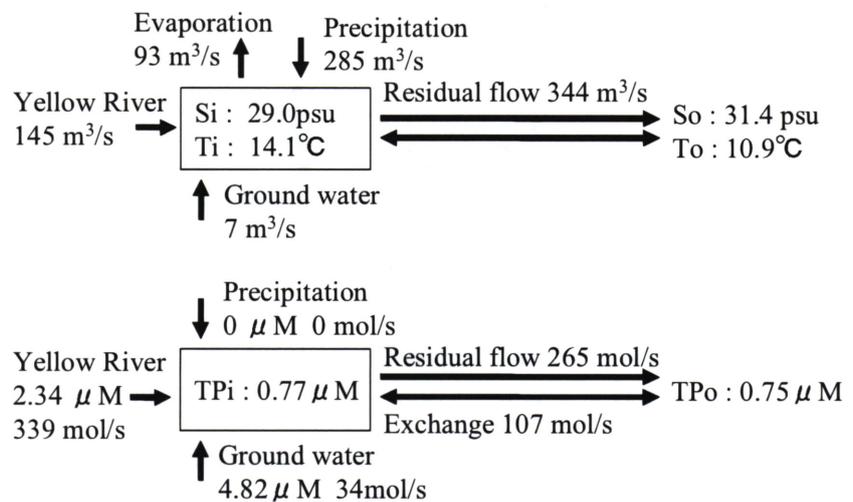


図4 地下水を含んだ黄河河口海域の水・TP収支