

## 2003年2月24日会議の質疑応答記録

インキュベーション研究の成果発表

日時：2003年2月24日 16:00-17:30

場所：文部省総合地球環境学研究所 3F 大セミナー室  
京都市上京区丸太町通河原町西入高島町 335  
電話 075-229-6111 (代表)

演題：「北東アジアの人間活動が北太平洋の生物生産に与える影響評価」の立案

発表者：原 登志彦 (地球研客員教授/北大・低温研)

### <質疑応答>

アムール川から供給される鉄がオホーツク海に入った後、どのような経路で輸送されるか、もう一度教えて欲しい。

アムール川の水は淡水なのでオホーツク海に流入後、表面に広がる。そして冬期に特に顕著であるが、反時計回りの東サハリン海流に運ばれて北海道に至る。その後、ブッソル海峡を通じて、太平洋へと流出する。もう一つは、アムール川の河口域で冬期の海水形成に伴って作られる高密度のブライン水が大陸棚の海底に沈降したのち、密度流として外洋に流出していくルートである。この大陸棚の海底では、潮汐混合によって堆積物の巻き上がりが起こり、鉄と有機物に富んだ高密度水塊が形成され、それが中層水として外洋に輸送されていると考えられる。中層水の面白い所は、中層では光がないので鉄が生物に使用されることがなく、遠方まで鉄に富んだ水塊のまま運ばれる可能性がある点である。最近では、ハワイ沖のアロハ・ステーションなどで観測される高濃度の溶存有機物がアムール川起源であるとする論文まで出てきた(中塚)。

海に出る時に鉄はどのような状態、状況にあるのか？

まず、事実として、溶存鉄濃度は、非常に高いであろう。恐らく深層水の1000倍のオーダーか。何故、それだけ高濃度なのかと言えば、「鉄の起源が陸面にあること」と、「一旦溶解した鉄が沈殿しにくいメカニズム、即ち腐植物質との錯体が形成されること」が、考えられる。しかし、多くの部分は、元々分子量の大きなコロイドであるため、河口域で海水に触れると電気的に中和され、凝集して沈殿する。外洋へ出て行けるのは、10%程度の分子量の小さな「真の溶解成分」のみ。しかし10%といっても、やはり非常に高濃度なので、生物生産に大きな影響を与えるはずだ。一旦沈殿した水酸化鉄は、大陸棚の海底で再溶解するかもしれないので、オホーツク海の場合、中層を介して、もう一度外洋へ輸送されている可能性もある(中塚)。

この話は、今、鉄が減っているということなのか？どうして鉄に着目するのか？アムール川流域の土地改変の結果、鉄が減って海洋の一次生産が減っているという証拠があるのか(中西)？

アムール川流域では湿地が大変広大である。湿地はフルボ酸・フミン酸を供給することで鉄の供給に寄与している。このため、本プロジェクトでは湿地面積の変化をまず始めに調べたいと思っている(原)。

鉄がフルボ酸などくっついて出てくるというのが、最近の研究(環境研：今井さん)によると、フルボ酸やフミン酸などはあまり関係なく、もっと違ったDOCをくっつけているという結果が出ている。そうすると、フミン酸、フルボ酸ばかりに注目すると結論として何が出てくるのか？また、利用可能な鉄というのは分析が難しいし、また化学的な話だけではなく、植物プランクトンなどはシドロフォア-をもっていて、それで取り込みやすさを決定するというバイオロジカルなプロセスがある。鉄という視点は面白いが、フルボ酸ばかりに着目するのではなく、もう少し広くみないと怖いのではないかと(中西)

なぜ鉄かという質問にまず答える。海洋には深層水の大循環があり、北太平洋は深層水の最終的にわき上がってくる地域である。このため、栄養塩は大変豊富である。しかし、



栄養塩が豊富であるということ自身よりも、より注目すべきは、夏の海洋表層の栄養塩が生物によって使われきっていないのが北太平洋であることである。これは鉄が欠乏しているためと考えられる。しかし、同じ地域のオホーツク海は、夏でも栄養塩が使用されきっており、同じ深層水による影響を受ける地域でも北太平洋は HNLC、オホーツク海は HNLC ではないということから、鉄がこの違いを決めているのではないかと考えている。このため、鉄に着目した（中塚）。

オホーツク海からさらに北太平洋に研究領域を広げるのか？（中西）

オホーツク海から北太平洋への話というのは将来展望であり、今、着目するのはオホーツク海自体であり、それと陸面過程との関係である。ご指摘いただいた「フルボ酸だけでは危ない」という点は、おっしゃるとおりだと思いますし、それだけに絞るつもりはない。鉄を総合的に研究する中でフルボ酸の役割を考えたい（中塚）。

全体の構想について聞きたい。対象スケールと空間スケールの話である。湿地帯や森林がなくなって鉄や有機物がなくなると、沿岸の生産力には大変効くと思う。しかし、沿岸にたまった鉄がタイムスケールの長いリザーバーになって濁度層を作るわけだから、これについてはひょっとするとこの 100 年の影響が見えないかもしれない。従って、どこで何をディテクトするのか、オホーツク海という 1 個の地域だけでは無理なのではないか？その辺をどう考えるか（和田）？

タイムスケールだが、大陸棚上の水が入れ替わるのは 1 年のスケールなので、水の入れ替えという点では 1 年のタイムスケールである。しかし、大陸棚の海底に溜まった鉄が再溶出するタイムスケールはわからない。よって、川からの鉄の流出とその行方、生物生産に対する影響の観測を河口域でやりつつ、堆積物の研究をやる必要がある（中塚）。

沿岸の直接川の影響があるところと、東シナ海での例のように堆積物がたまって濁度層が外に出ていくところと両方についてやらないといけない（和田）。

海洋観測では堆積物も主要なターゲットとして研究する（中塚）。

陸域の産業・農業活動がオホーツク海の一次生産に与える影響を評価するというプロジェクトと思うが、オホーツク海の一次生産が水産資源につながり、その結果、陸の人間活動が水産資源に与える影響という点から注目されることになると思うが、それについてはプロジェクトでどう考えるか（吉岡）？

今のところ植物プランクトンによる一次生産までが中心的なテーマであり、植物プランクトンの増減による漁獲量の変化は今考えているところである。現在は、ロシアの水産資源のデータを TINRO を中心に探索している段階である。フィージビリティ研究で実現したい（原）。

水産資源はちゃんと出てくるのか？

A) コアメンバーに極東の水産資源に詳しい荒井信雄氏がおり、彼によると旧ソ連時代のデータはある程度期待でき、かつ信頼できるとのことである。ロシアに移行して以降のデータは商業漁獲などの問題もあり、かならずしも信頼できない可能性がある（白岩）

このプロジェクトは、水産資源を通して陸上での人間活動のあり方を考えるものと思うが、この陸上での人間活動に対して、このプロジェクトから、オホーツク海・北太平洋の一次生産・水産資源に影響があるという結果を、人々に対してフィードバックする方法論について何か考えがあるか（吉岡）？

私は漁獲高というよりも、自然に対する価値観やものの考え方、そういうところが非常に大きいと思う。森林火災の影響が非常に顕著であるが、なぜ森林火災が多いかという点、極東の人々が森林に対してどういう考えを持っているかという点に大きく依っている。根本的には教育の問題であり、その地域・国の人たちの自然観・生活に対する考え方に行き着くと思う（原）。

そういった場合、オホーツク海までの話が重要になるのか、それとも森林火災などの場合、陸上系の話しも重要になり、陸上でもっとやらなければいけないと思うがいかがか（吉岡）？

もちろん陸上も重要であるが、ここでは陸の問題が海に繋がることを強調したい。たば



このポイ捨てが水産資源を変え、人類の食糧問題に繋がるという視点である（原）。

むかしは何でポイ捨てがなかったのか（日高）？

この地域は 100 年前までは人口も少なかったため、この問題は近年になって工業化・都市化で深刻化してきた。ロシア、旧東ヨーロッパではゴミ問題・環境問題が以前から深刻であり、これは別の人文・社会科学的なテーマになりうる（原）。

インドネシアでは、たばこのポイ捨てなどが増えている。昔はもっと森を大事にしてきたように思う。たばこのポイ捨てが水産資源に繋がるという教育が有効かどうかはわからない（日高）。

人間活動は最終的にはそういうことに行き着くという危険性をもっていることを我々は認識すべきである（原）。

水産資源の話としてオホーツク海の最大の問題は乱獲である。外貨獲得のためである。しかし、乱獲による問題で生態系のピラミッドの上が減る問題と、一次生産者が減る問題は違う。一次生産者が減ると乱獲しなくとも高次生産者は減るので、これからのオホーツク海・北太平洋における漁獲量の予測の上では、乱獲による影響と一次生産者の変動による影響を分ける必要がある。こういうことが人間に対する最も重要な情報になると思う。すなわち生態系の問題である（中塚）。

アムール川下流部の湿地からの鉄の供給とオホーツク海における鉄を利用した一次生産という精緻な流れがある一方、地球研のプロジェクトであるがゆえ導入したと思われる社会科学的な要因、すなわちアムール川上流部における森林火災、ハルビンにおける農業化・工業化といった問題が、最終的にアムール川の下流部で強引にまとめられてしまうことを危惧する。あまり無理しなくても良いのではないかと（秋道）？

プロジェクトとしては、ハバロフスクより下流域を中心的な研究領域としており、松花江などは視野には入れているが中心課題ではない（原）。

スングリーまでやるのか（日高）？

そのへんのところを FS 研究で調べたい（原）

松花江の断流はどのくらいの頻度で起こるのか（日高）？

まだ調査中である。最近では 1998 年に起こったらしい（白岩）。

藻類のことについて教えてもらいたい。バイカル湖では最近わかってきたのだが、冬の結氷期にでてくる。アムール川でもそうだとロシアの研究者も言っている。オホーツク海の藻類というのは、低温に適応したものが流氷にくっついているのか（和田）？

答えになっていないと思うが、流氷の下には藻類がいる。しかし、彼らは一次生産にはほとんどきかない。オホーツク海では、西側の場合、秋に生産量が高い。春先の氷の下の藻類の生産量は、年間のトータルの生産に対してはほとんどきかない（中塚）。

流氷の下の藻類がタラコのもとになっているというのは本当か（和田）？

それは流氷の下のアイスアルジーがスケトウダラの餌になっているかということだと思うが、アイスアルジーには 2 種類あり、氷の下にいる奴と、アイスエッジブルームと言って氷が融けることによって発生する奴がいて、後者については結構な量があるが、氷の下からバサバサ落ちているということはない（中塚）。

私が聞きたいことは温暖化にも関連するのだが、本プロジェクトには「生物生産に与える影響評価」とあるが、流氷の出来具合とかで変わると思うが、その辺は見なくても良いのか（和田）？

若土戦略基礎でその辺を見た。セジメントドラップなどで調べたが、思ったほど海氷自身は生物生産に効いていないことがわかった。だから、今回のプロジェクトではむしろ冬以外の季節、アムールの流量が多い夏を研究対象にしたい（中塚）。

非常にこんがらがるのが、植物プランクトンの場合、バイオマスの量によって生産とするか、速度によって生産とするかで全然違うことである。この辺を良く考えて欲しい。バイオマスが多ければ生産が高いかということ、必ずしもそうではない。ターンオーバーの早い小さい奴っていうのは単位期間あたりの光合成量がものすごく高い。氷のアイスアルジーなどの大きな奴よりもずっと高い。実際、バイカルなどで測っても一日光合成を測ると、冬場の温度の低いときは、低いところでピークはあるけれど、全体のマスから見るとやっぱり小さい。今回はバイオマスでの生産、クロロフィルと書いてあるからわかるけど注意



して欲しい。ただ、どうしても鉄に着目してうまくいくかどうか不安である。失礼かもしれないが、鉄の分析は難しい。フラクショネーションだけでも非常に難しい。どの程度までの情報があれば、いまのような話しができるのか（中西）？

河川水中の溶存といわれる鉄の大部分は $0.4 \sim 0.02 \mu\text{m}$ の孔径に存在するコロイド鉄である。コロイドの $d^{13}\text{C}$ 値等から鉄は腐植物質とコロイドを形成していると思われる。プランクトンの培養実験から、このコロイド鉄は光合成生物が摂取できる bioavailable な鉄である。河川から海に流入したコロイド鉄を含めた腐植物質の50%程度は塩により凝集し、 $0.4 \mu\text{m}$ 以上の孔径をもつ粒子になる。残りの50%は海水と混合拡散して希釈されるが、河川中のコロイダル鉄濃度が高いので、オホーツク海の光合成生物に必要な鉄を十分供給できるものと思われる。海水、特に低濃度の外洋水中の鉄の分析は困難であったが、故中山先生が開発した分析法によって、低濃度の鉄の分析のみならず溶存、コロイドの分別定量も可能になってきた。河川の影響のない外洋の光合成層（ $\sim 100\text{m}$ ）にはコロイド鉄は存在しないことから、オホーツク海における形態別鉄の分析によって、鉄の起源を明らかにすることが可能になる。外洋の鉄の鉛直分布、その濃度、形態、安定度定数（ $\log\beta$ として30程度）等から判断すると、外洋の鉄はシドロフォアーとの錯体である可能性が大きい。しかし、陸では溶存鉄の大部分がコロイド鉄であることを考慮すると、鉄は腐植物質との錯体を含めた関係が極めて強いことが示唆される。（松永）

アムール川はものすごく濁っているが、コロイドというよりごっつい粒子になっているのではないかな？

ご指摘のように大部分大型の粒子といわれています（松永）。

話が見えなくなった部分がある。前半は鉄をキーワードにして話が繋がっていたが、後半を聞くとオホーツク海には十分鉄があることになり、森林火災がこんなに増えてもオホーツク海には十分鉄があるように聞こえる。そうすると、なんで森林火災が鉄とリンクするのかわからない。それからデータがないからかもしれないが、溶存鉄を出すためには鉄を二価にするための還元的な環境が必要と言ったが、これは湿地が律速過程になることを意味する。森林火災、湿地の関係、どちらが律速なのか（中尾）？

まだわからない。溶存体の生成という意味ではたぶん湿地が重要なのだろう（原）。

では最近の湿地の変動についてはデータがあるのか（中尾）？

この2週間ほど衛星で湿地の変動を見ているが、10年程度での変動はわからない。それよりも季節変動が大きい。見る時期を変えると大きく地下水位が変動するようで比較は簡単ではない（白岩）。

湿地がたっぷりあるのであれば、それが多少どうなろうとオホーツク海の生産性が変わらないという結論が出るのではないかな（中尾）？

それは過去100年程度見なければならぬのではないかな？ひょっとしたら過去はもっと生産性が高かったかもしれない（原）。

しかし、それが骨になっているので、やってみたら変わらないという結論は怖い（中尾）。

おっしゃる通りの可能性はあるが、太平洋の話しを持ち出したのは、アムール川の影響が太平洋に出て、その影響の範囲が変わることが期待されるためである（中塚）。

ひとつコメントしたい。森林と湿地がどちらが律速条件であるかという話がでたが、アムール川の下流域の場合、森林と湿地が独立して存在するのではなく、森林が湿地を涵養しているという側面がある。両方併せて見ないと本質は見えてこない（白岩）。

以上。