

《公開講演会記録》

黒竜江（アムール川）とオホーツク海

—豊かな親潮を育む巨大環境エンジンの秘密

北海道大学 低温科学研究所 白岩孝行



1. 海洋生態系に与える河川の影響

河川と海洋のつながりを考えるにあたり、我が国にある魚附林（うおつきりん）と呼ばれる森林から話を始めたい。狭義の意味では森林法に定められる「魚つき保安林」を指し、全国に約3・1万鈔の面積を持ち、主として海岸線に沿って制定されている。その期待される機能としては、河川および海域生態系に対する①栄養塩供給、②有機物供給、③直射光からの遮蔽、④飛砂防止、が挙げられる。いっぽう、広義の魚附林は、海域の生態系に対し、そこに流入する河川流域全体の森林や湿地といった陸面環境を指す。この場合の魚附林の機能には、上記の四

点に加え、⑤微量元素供給、⑥水量の安定化、⑦土砂流出安定化、⑧水温安定化などが期待されている（白岩、2010）。沿岸上流域の陸面に由来をもつ物質が、河川を通じて沿岸域にもたらされ、そこに存在する生態系に影響を及ぼすという考えは、実はまだ完全に立証されたわけではない。もちろん、この物質が沿岸域に魚の影響を与えるような、肥料起源の過剰な栄養塩であったり、生物にとって有害な汚染物質の場合には既に様々な事例が知られている。しかし、魚附林にみられるような、上流が下流に好ましい影響を及ぼすような場合についての実証的研究は数が限られている。その背景には、研究においても、行政においても、海岸線を境に陸域と海域の研究と管理が明瞭

に区画されているためではないかと筆者は思っている。

その一方で、日々の糧を沿岸海域から得ていて、変化が直接生活に密着している漁業者は、魚附林という考えを長い間にわたり経験的な知識として理解していたようにみえる。若菜博氏（2004）によれば、魚附林という考え方の起源は古く、江戸時代の始まりまで遡る。1623（元和9）年には、魚肥として重要であったイワシを保護するため、佐伯藩（大分県）では山焼きや湾内の小島の草木の伐採を禁じていたという。また、江戸時代中期には、サケの保護を目的に、岩手県や新潟県において山林の保護が藩の政策として実施されたらしい。

高度経済成長期になると、種々の原因



写真1 2011年6月5日に行われた第23回森は海の恋人植樹祭(気仙沼)

により沿岸の荒廃が進み、これを魚附林の劣化のためと考えた漁業者は、内陸森林の保全に目を向け始めた。現在、各地で盛んに行われている漁師が主導する植樹活動の起源をたどれば、北海道において柳沼武彦氏が指導した1988年に始まる「お魚殖やす植樹運動」(柳沼、1999)と、気仙沼の畠山重篤氏による「森は海の恋人」と名付けられた198

9年からの牡蠣再生のための植樹運動(畠山、1994)の二つの原点に行き当たる(写真1)。

1980年代になると、研究者の側から漁業者の植林活動を積極的に支持する学説が登場した。松永勝彦氏(1993)は、河川が供給するフルボ酸鉄が沿岸のコンブを育む重要な因子であり、上流の森林の荒廃がフルボ酸の供給を減少させ、これが沿岸に鉄不足をもたらし、磯焼け(沿岸の沙漠化)を引き起こしている、と主張した。また、最近では、田中克氏ら京都大学の研究者が、従来の魚附林思想に代表される森と川と海の関係を、人々の居住圏としての里に拡充して、分野横断的な視点から陸と海の連環を考える「森里海連環学」を提唱し始めた(田中克氏、2007)。彼らは京都府と高知県の流域を対象に、分野横断・学際的な流域研究を展開している。一方、人の手が加わることにより、生産性と生物多様性が高くなった沿岸海域を表す言葉として、「里海」という言葉も提案されるようになった(柳哲雄氏、2006)。

これらの考えは、いずれも海洋生態系に正の影響を与える森林と河川を中心とする陸域の役割を強調する。しかし、流域を構成する要素は様々であり、異なる

土地被覆・土地利用状態がどのようなプロセスを経て河川に影響を与え、これが海に到達するかについてはまだ十分な研究がなされていない。筆者らは、2005年〜2009年にかけて、総合地球環境学研究所(京都)の研究プロジェクトとして、親潮とオホーツク海に及ぼすアムール川の影響を検討し、大陸スケールの陸面状態と、外洋スケールで生じる基礎生産の間に、つながりが存在することを見出した。これは魚附林と同様、陸地が海洋生態系に果たす生態系サービスのひとつと言えよう。そして、ここでは湿地の役割がとりわけ重要であることが浮かび上がってきた。

2. “巨大”魚附林としてのアムール川流域

海洋の生産性を測る指標として、基礎生産という概念がある。植物プランクトンが種々の栄養塩と太陽エネルギーを利用して有機物を生産(光合成)することを指す。海洋生態系は、マクロに見れば、植物プランクトンを底辺とする巨大な生態系ネットワークを形づくっている。基礎生産が大きな海域は、上位の生物を養う能力が高く、豊かな海である

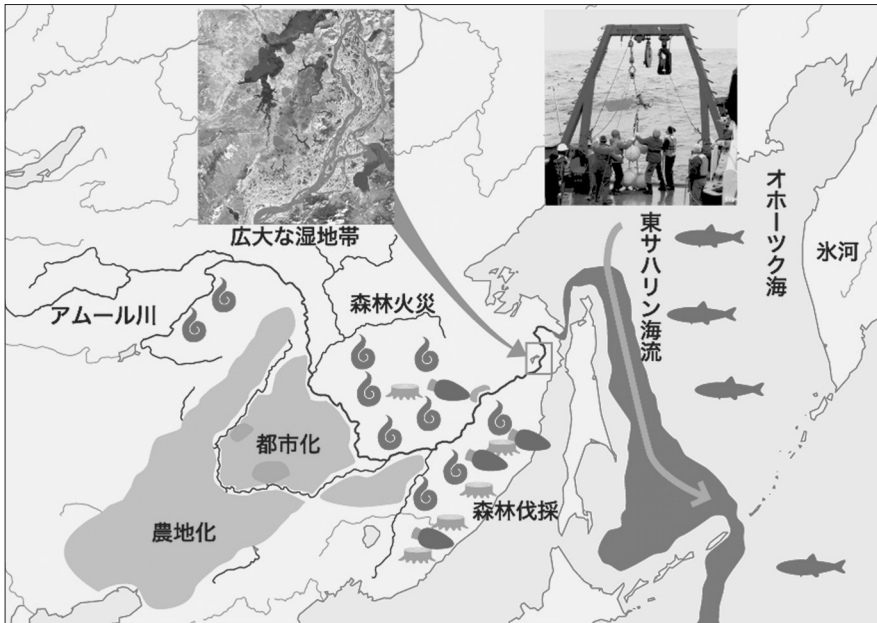


図1 オホーツク海・親潮の巨大魚附林としてのアムール川流域

と言える。そして、我が国の北方に広がるオホーツク海と親潮域は、世界的にみて、最高位に位置する豊かな海である(図1)。

植物プランクトンが利用する栄養塩と

しての窒素、リン、ケイ素は、鉛直循環が活発に起こる親潮やオホーツク海のような高緯度寒冷海域には豊富に存在している。このため、従来の考えでは、沿岸域のように陸域と近接した地域の海洋生態系はさておき、オホーツク海や親潮のような外洋の基礎生産は、陸域とは無関係に成り立っていると考えられてきた。しかし、筆者らは、オホーツク海や親潮域の豊かな基礎生産には、アムール川が供給する溶存鉄が重要な役割を果たしていると考えている(白岩、2011)。

なぜ植物プランクトンの生産に鉄が必要なのだろうか。先に松永勝彦氏の先駆的な研究について触れたが、この問題に最初に取り組んだのはアメリカの海洋学者ジョン・マーチンであった(Martin and Fitzwater, 1986)。世界の海洋には、栄養塩と光が充分にあっても、季節の途中で植物プランクトンの生育が止まってしまう海域がある。微量金属測定技術を駆使してこの問題に取り組んだマーチンは、その原因が鉄不足にあることを

突き止めた。そして、マーチンの意志を継いだ研究者たちは、このような鉄不足の海域に鉄を人工的に散布する実験を行い、確かに植物プランクトンの生成が加速されることを突き止めた。

陸上ではありふれた元素である鉄は、極めて水に溶けにくい元素である。鉄が水に溶けるには、酸素が少ないことが条件であり、酸素の豊富な海域では鉄は水酸化鉄となって水に溶けず、海水中の鉄の濃度は極めて微量となる。一方、陸地には湿地のように常時還元的な環境が存在し、このような場所では鉄が水に溶けている。そして、湿地を取り巻く森林や湿地そのものから供給される腐植物質は、松永勝彦氏(1993)が明らかにしたように、鉄と結びついて、酸素の豊富な河川においても鉄が粒子化するのを防いでいる。つまり、森林や湿地の多い陸面環境は、河川を通じて豊富な溶存鉄を海に供給できる能力を持つことになる。

とはいえ、いくら河川中に濃度の高い鉄が溶けていたとしても、これらの鉄は汽水域で塩分濃度の高い海水と接したとたん、海水中に溶けている塩と反応して粒子化し、大部分は海底に沈殿してしまう。だから、一般的には河川を通じて運ばれる溶存鉄は、沿岸部に影響を与える

ことはあっても外洋には運ばれないだろうと考えられてきた。

ところが、オホーツク海では海水が発達することによって駆動される海洋の鉛直循環（熱塩循環）が存在する。また、オホーツク海を反時計回りに流れる西岸境界流としての東サハリン海流は強力な海流である。アムール川が運び、大陸棚に堆積した鉄は、この鉛直循環と東サハリン海流の二つによって、オホーツク海の中層を通り、千島列島付近で生じる潮汐混合によって広く親潮域の表層へと輸送されていることがわかってきた。つまり、アムール川流域は、オホーツク海や親潮にとっての巨大な魚附林となっていたのである。

3. 鉄を生み出すアムール川流域の湿地

溶存鉄はアムール川流域のどこに起源をもっているのだろうか。それはアムール川の中流、ちょうど大支流である松花江やウスリー川の合流点付近に位置する三江平原と呼ばれる中国最大の湿地である。

湿地で鉄濃度が高くなる原因は、腐植物質の量もさることながら、鉄自体の挙動に注目すると理解できる。地球上にお



アムール川の流れ

いて鉄は4番目に多い元素であり、陸上であればどこにでもある物質である。ところが、前述したように酸素と結びつきやすい性質を持っているために、酸素が豊富な環境では、ほとんどの鉄は酸素と結合した水酸化鉄という不溶性の状態で安定となる。一方、酸素がない状態においては、鉄は一部の電子を切り離し、二価あるいは三価の陽イオンとして水に溶けることが可能である。

湿地という場所は、常時、地下水位が

高く、地表付近に水が存在する。このような場所には、湿地特有の植物が繁茂する。植物は季節の移り変わりと共に枯死して、やがてはバクテリアによって分解される。北方湿地は気温の低さもあってか、分解は遅く、そして分解の過程で酸素が消費されるため、常時酸素の少ない還元的な環境が維持される。このような状態は、鉄の水中への溶出にとって都合が良く、それゆえ、湿地の水域には多量の鉄が溶け出すことになる。溶け出した二価や三価の溶存鉄は、豊富に存在する腐植物質と錯体（注：金属と非金属の原子が結合した構造をもつ化合物）を形成し、腐植鉄錯体として溶存状態を保ったまま湿地から河川、そして海洋へと輸送されるのである。

もちろん、従来言われていたように、腐植鉄錯体の形成は森林においても起こっている。我々がアムール川流域の様々な陸面環境における溶存鉄濃度を観測したところによれば、湿地▽水田▽自然森林▽火災を受けた森林▽畑という順で溶存鉄濃度は低下していくことがわかった。つまり、湿地がどれだけ存在するかが、河川を通じて海洋にどれだけ溶存鉄あるいは腐植鉄錯体が運ばれるかの目安となるのである。



オホーツク海

4. 顕在化する人為的影響

近年、アムール川流域では急速な土地利用変化が起こっている。現存する過去の地理情報と衛星画像を利用して、1930年代と2000年時点のアムール川全流域の土地被覆・土地利用状態を復元し、その変化の様子をみたところ、アムール川流域においては、草地と湿地の大幅

な減少と、それに代わる畑や水田の増加が認められた(大西健夫氏・楊宗興氏、2009)。そして、これに呼応するように、湿地の減少が最も顕著に起こっている三江平原を流れるナオリ川においては、20世紀の半ば以降、河川水中の鉄濃度が急激に減少した(Yan et al. 2010)。

オホーツク海に面する我が国の知床は、オホーツク海という季節海水域における海と陸の相互作用を背景に、多様な生物種から成り立つユニークな生態系が根拠となり、2005年に世界自然遺産に認定された。このオホーツク海と隣接する親潮の生態系を底辺で支える植物プランクトンが、遠い大陸の湿地に源をもつ溶存鉄の存在によって支えられているという事実は、生物多様性の保全に対し、その背景にある森里海連環の重要性をつきつけている。海岸線という陸海境界、アムール川とオホーツク海をとりまく多国間の国境、巨大魚附林という環境システムの上に暮らす人々の政治・経済・言語・文化・生業という境界を乗り越え、この豊穡な自然をいかにして次世代に引き渡すのか。極東地域に住む我々の協力と知恵が試されている。

5. アムール・オホーツク コンソーシアムの設立

2009年11月7日と8日に札幌で開催された「オホーツク海の環境保全に向けた日中露の取り組みにむけて」と題する国際シンポジウムには、多くの研究者や行政担当者、および市民が参加し、様々



写真2 2009年11月7、8日に開催された第1回アムール・オホーツクコンソーシアム国際会合参加者

な視点からオホーツク海の豊かさや脆弱性を討議した（写真2）。その結果、この海域には様々な問題があり、放置したままでは、いずれ劣化する可能性が高いことが示された。これを受け、シンポジウムに参加者が中心とり、多国間の国境を越えてアムール・オホーツク地域の環境保全と持続可能な環境利用を定期的に議論する必要性が共有された。シンポジウムでは、日中露3カ国の研究者がオホーツク海とアムール川流域の一貫した保全に関する共同宣言を採択し、この共同宣言により、多国間学術ネットワークとしてのアムール・オホーツクコンソーシアムが開始することとなった。

共同宣言に従い、第2回の国際会合は2011年に開催することとなった。ちなみに、第1回国際会合は、共同宣言をまとめた2009年11月7、8日の国際シンポジウムを指す。2010年11月1、2日には、第2回国際会合の準備のためのワークショップを開催した。日本、中国、ロシアの幹事に加え、モンゴルの研究者が初めて参加した。また、国連環境計画（UNEP）や外務省といった国際・国内の行政機関からも参加者があった。このワークショップにより、第2回国際会合は、2009年の第1回国際会合に

引き続き、アムール川流域とオホーツク海の様々な自然科学的知見の集積をテーマに開催することが決定された。幸い、2011年〜13年の3年間で、三井物産環境基金によってコンソーシアムの活動を継続できることが確定した。

2011年11月5、6日に札幌で開催された第2回国際会合では、初日に、①アムール川流域の環境とその変化、②オホーツク海の環境とその変化、③福島第1原発事故とその海洋環境への影響、という3セッションで合計13件の口頭発表が行われた。翌日は、④アムール・オホーツク地域の社会と経済、⑤環オホーツク地域の環境保全に向けた国際連携、という2セッションで、11件の口頭発表があった。総合討論においては、国境を越えた環境データの共有化の必要性と実現性について議論を行った。その理由は、中国における2005年11月の黒竜江省における石油化学工場の爆発事故に続く、松花江・アムール川へのニトロベンゼン流出事故、そして2011年3月の東日本大震災が引き起こした津波と引き続き原発事故がもたらした広域の放射能汚染は、国境を越えて環境情報を共有することの重要性を広く認識させたからである。しかし残念なことに、オホーツク海を取り



オホーツク海

巻く日中露間の環境情報共有は、欧米の現状に比べ、遙かに遅れていると言わざるを得ない状況にある。

コンソーシアムの役割として、越境環境データの国際的なアーカイブを担う組織になるべきであるという少数意見もあったが、既存の研究や情報をつなぐポータルサイトとして機能することが現実的であるという意見が大勢を占めた。つまり、環オホーツクという広大な領域の環境データをひとつの機関が新たに集積することはもはや現実的ではなく、むしろ、現存し、かつ利用可能であるが、その存

在と価値が知られていないデータを発掘し、有機的につなぐことで、多くのステークホルダーが利用可能な状態にすることが今求められているという認識である。

原発事故という取り返しのできない環境問題を引き起こした日本が率先してこの問題に取り組むことが、長い目でみた環オホーツク地域における越境環境保全の礎になるのではないかと筆者は考えている。

引き続き総合討論では、コンソーシアムのさらなる活動として、2012年に、4カ国共同によるアムール川の観測航行が提案され、了承された。また、2013年度に予定している第3回国際会合はロシアにおいて開催することがロシア代表幹事であるピーター・バクラノフ氏から提案され、了承された。コンソーシアムの活動を各国が公平に分担することは、コンソーシアムの持続可能性にとって重要な側面であるといえる。

以上の会合は、日・中・露の3カ国語同時通訳によって行われ、本会議で発表された成果は、平成23年度末までに英文プロシーディングスとして出版された。これらの印刷物を含むコンソーシアムの最新情報は、ホームページで逐次公開している。詳細はこちらを参照されたい。

<http://amurokhotsk.com/>

(6月1日・講演会)

〈引用文献〉

- 大西健夫・楊宗興(2009) 土地利用の変化が溶存鉄フラックスに及ぼす影響。地理、54、12、52—58。
- 白岩孝行(2010) 魚附林。総合地球環境学研究所編「地球環境学事典」84—85、弘文堂。
- 白岩孝行(2011) 魚附林の地球環境学—親潮・オホーツク海を育むアムール川—。昭和堂、231頁。
- 田中克(2007) 「森・里・海」の発想とは何か。山下洋監修「森里海連環学」、京都大学出版会、307—333。
- 中塚武・西岡純・白岩孝行(2008) 内陸と外洋の生態系の河川・陸棚・中層を介した物質輸送による結びつき。月刊海洋、号外、50、68—76。
- 畠山重篤(1994) 森は海の恋人。北斗出版、192頁。
- 松永勝彦(1993) 森が消えれば海も死ぬ。講談社、190頁。
- 柳沼武彦(1999) 森はすべて魚つき林。北斗出版、246頁。
- 柳哲雄(2006) 里海論。恒星社厚

生閣、102頁。

若菜博(2004) 近世日本における魚附林と物質循環。水資源・環境研究、17、53—62。

Martin, J.H. and Fitzwater, S.E. (1988) Iron deficiency limits phytoplankton growth in the northern Pacific subarctic, Nature, 331, 341-343.

Yan et al. (2010) Concentration and species of dissolved iron in waters in Sanjiang plain, China, In Shiraiwa (ed.) Report on Amur-Okhotsk Project No.6, RIHN, 183-194.

講師略歴(しらいわ たかゆき)

- 1964年 東京都生まれ
- 1983年 早稲田大学卒業
- 1993年 北海道大学博士(環境科学)
- 1994～95年 第35次南極地域観測隊越冬隊員
- 2004年 北海道大学低温科学研究所助教
- 2005～09年 総合地球科学研究所に出向・助教
- 現在 北海道大学低温科学研究所准教授