

平成31年度 第10回講演会 記録

日 時	平成31年9月14(土) 13:00~16:00	
会 場	此花会館 梅香殿	
講 師	北海道大学低温科学研究所准教授 白岩 孝行 先生	
演 題	親潮と陸域の繋がり	
備 考	参加者 169名 (内聴講2名)	記録 船本浩路

はじめに

【田中 克 先生】

今日は地球規模での陸（森）と海の関係性のお話しです。我々が自然観察会で訪ねたロシアのウスリータイガは白岩先生の研究フィールドです。畠山重篤さんの「森は海の恋人」運動は日本列島全体の森が日本列島全体の沿岸域の魚付き林という考えですが、白岩先生はロシアの広大な森であるタイガをオホーツク海や親潮の“巨大魚付き林”という構想で研究を展開されました。白岩先生にお会いしたのは約10年前、京都市上賀茂にある総合地球環境学研究所で巨大魚付林の研究がほぼまとまったころです。この時に畠山さんとの繋がりも生まれ、白岩先生の同僚で鉄の分析をされている方が大学院生のころに、北海道大学水産学の松永勝彦先生の指導で気仙沼湾をモデルに、なぜ牡蠣がよく育つかという研究をされたというように、いろいろな人の繋がりが顕在化しました。今日はそのようなことを含めお話いただきたいと思います。

【白岩 孝行 先生】

北海道大学低温科学研究所は寒い地域の自然現象を研究する施設ですが、今日は親潮とそれに影響を及ぼす大陸との関係をお話しします。海のお話をするのですが、私は海洋学者ではありません。私の研究の始まりは川や海とは関係のない雪と氷でした。始めてから20年間は南極、北極、あるいはヒマラヤの氷河がなぜ変動するのかを研究していました。氷河は地球温暖化の影響で縮小し、海面が上昇したり海洋環境に影響したりと、いろんな意味で注目されています。あるとき大学の上司が、京都に新しい研究所ができる。そこで新しい研究をしてみないかというお話があり、当時私は助教でしたのでもしかすると准教授にしてくれるのかなと（笑い）。その時にいろんなことを考えたのですが、北極の研究をしていると地球の環境の変化が見えてきます。どのような研究かというと氷河を薄くても200m程ボーリングし、そこに積もった雪の標本から過去の気温の変動や大気中の埃（黄砂など）の変動がわかります。アラスカの氷河の研究をしているとき、氷の中の黄砂の量が10~15年周期で変動し、太平洋のニシンやイワシ、サンマなどの漁獲量の変動に一致することに気づきました。太平洋に飛来する黄砂は太平洋の海水に鉄分を供給し、海の植物プランクトンが増殖して魚が増えるとの仮説を立て、京都の研究所に提案しました。その後、黄砂に含まれる鉄よりもアムール川が運ぶ鉄の方が重要だとわかったので、研究は親潮とアムール川の関係へとシフトしていきました。というわけで、今日は3つのことをご紹介します



1. オホーツク海・親潮の魚付林としてのアムール川流域
2. 親潮と陸域の淡水を介したつながり
3. 北東アジア・極東の陸・海を対象とした越境環境保全

1. オホーツク海・親潮の魚附林としてのアムール川流域

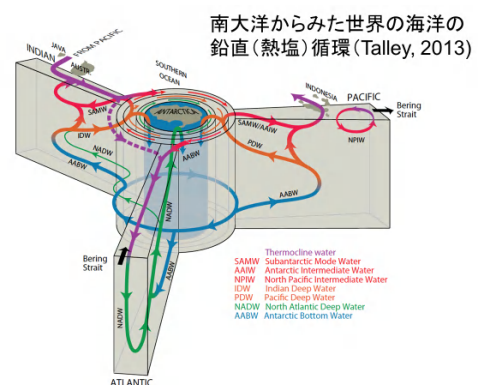
アムール川流域は面積 205 万km²あり、日本列島 37 万km²の 5.5 倍もある。

(1) 海水中での栄養の存在

- 1) 太陽光、水、二酸化炭素、栄養（チッソ、リン、ケイ素）という光合成の 4 つの要素によって魚の餌の素となる植物プランクトン量が変動する。植物プランクトンが増えればこれを食う動物プランクトンが増えてさらにそれを食べる魚が増える仕組みがある。
- 2) ところが、海の中では 4 要素のうち栄養は不均一である。多い海と少ない海とがあり、また栄養の供給には海流が重要となる。なお、対象とする海は、陸から遠く離れた沖合の海である。
- 3) 日本周辺には黒潮と親潮がある。表層の海流は風によって起こる。また、地球の自転によって日本付近では偏西風が生まれ、これによって海流に方向ができる。時計回りが黒潮、反時計回りが親潮。他の地域も同じような仕組みで海流が生まれる。

この結果、栄養が拡散していく。しかし、これら海流は深い海のほんの一部の表層の流れであるため拡散は平面的である。

- 4) 表層にある栄養は植物プランクトンの増殖に使われ、動物プランクトンに捕食されて糞として排泄され、また、食べ残しのプランクトンの死骸はマリンスノーとなって海底に沈んでいく。そのため、表層の栄養はプランクトンの増殖に比例して少なくなる。したがって、表層をかき混ぜる海流は栄養の供給には効果的でない。
- 5) 海にはもう一つ重要な海流がある。海を垂直にかき混ぜる循環で鉛直循環とか熱塩循環とか呼ばれている。これによって海底に溜まった豊かな栄養が表層に持ち上げられる。(上図)



(2) 両極などで起こる垂直循環の特徴

- 1) 冷たい海（南極、北極）の表層でできる海氷はその生成過程で凍りきらずに残った高塩分の海水を海底へと沈み込ませる。そして、この沈み込んだ海水が地球をゆっくり回る。(寒さでできる海流)
- 2) この海流は黒潮や親潮に比べて流れが遅い。地球を一周するのに 1000 年かかる。しかし、これによって世界の海の海底にある栄養がかき混ぜられて有光層に供給される。しかし、太平洋だけは違う。この循環が弱く栄養のある海水は日本近海には供給されない。ここではその役目をオホーツク海が担っている。

(3) 鉄が重要な理由

- 1) チッソという栄養が使いきれなく余っている海がある。植物プランクトンはチッソ源としてアンモニアは取り込めるが硝酸を効率よく取り込むことができない。しかし、鉄は硝酸を亜硝酸やアンモニアに変える働きがあるので、鉄があれば硝酸を効率よく利用できる。したがって、チッソが余っている海というのは鉄が不足している海とも考えられる。
- 2) 鉄は陸にはたっぷりあるが、海水中にはほとんど無い。それは海水に溶けにくいからだ。そのため鉄が植物プランクトンの増殖の制限因子になっている場合がある。

(4) アムール川の鉄が親潮域まで運ばれるプロセス

- 1) 海水は-1.8 度で凍るが、この時に塩を吐き出しながら凍る。そのため凍った海水はなめてもしよっぱくない。その吐き出された塩水は濃縮されて密度が高くなるために周囲の海水より重くなって海

底に向って沈降していく。この現象が垂直混合の成因である。

- 2) アムール川に含まれる鉄はやがて海に至るが、鉄は海水では一層溶けにくく、河口近くの海で海底に沈殿してしまい、遠く沖合までは運ばれない。川の影響は遠くまで及ばない。ちなみに、海水中の鉄は河川の鉄の 100 万分の 1 のレベル、1 ナノグラム程度である。
- 3) 鉄が溜まっている真上の海水が凍り、そして垂直方向にかき混ぜる流れが生じると底に溜まった鉄は東樺太海流（オホーツク海を反時計回りに流れる親潮の分流）にのって深い所（400m）を流れて効率よく沖合に運ばれる。その後、千島列島（北方 4 島）にぶつかるが、択捉島の北側の得撫島の北側のブッソル海峡は水深があり、深い層を流れる鉄もそこを通過（実観測で確認している）して太平洋に出て、親潮（チッソ、リン、ケイ素に富む）に合流する。狭い海峡を速く通るので鉄を含む深い層にある海水は混合拡散されて表面にまで届く。この時に鉄、栄養、二酸化炭素、光という植物プランクトンの増殖条件がそろふ。

（5）アムール川の鉄はどこから来るのか？

- 1) アムール川の源流はモンゴルのウランバートルの東にある。ハバロフスクまではロシアと中国国境を流れ、その後、ロシア国内を流れ、最後はサハリン北側でオホーツク海に出る。アムール川の水量はおおよそ石狩川の 50 本分、淀川の 200 本分もあり、とてつもなく大きな川である。
- 2) この流域の水に溶けている鉄濃度を 5 年間調べた結果、森林<草原<耕作地（水田、畑）<湿原（湿地）の順に多いことが分かった。山や森林付近は意外と鉄濃度が低い。

（6）鉄濃度が湿地で高い理由

- 1) 湿地は地下水位が高いために植物が繁茂してもそれが枯れると水中に沈み、その分解には水中の酸素を消費するので、湿原の水は非常に酸素に乏しい。しかし、こういう嫌気状態のところこそ鉄がたくさん溶けてくる。鉄は酸素に出会うと固体になって沈殿する。湿原にたくさん鉄があっても川に流れると川の酸素と反応して沈殿してしまう。湿原のような環境があつて、さらにプラスして森林のようにフルボ酸などの腐食物質を生産する環境があれば、フルボ酸などの腐食物質が鉄と結合して溶けたまま川に流すことができる。
- 2) 日本の川も同じである。鉄濃度は森林比率と関係ある。森林が少ないほど川の鉄濃度が高い。これは、北海道の場合森林の少ない所は湿原面積が広いからだ。

（7）アムール・オホーツクプロジェクトの結論

- ① 世界で一番基礎生産力が高いオホーツク海と親潮海域はアムール川の鉄と親潮（栄養が多い）が混ざって良い条件となる。
- ② 鉄は湿原から多く出てくる。
- ③ その背後の森林は溶存鉄に必要な腐食物質を供給する。
- ④ 湿地などが減ってくると川を通じて供給されている鉄が減少する可能性がある。
- ⑤ アムール川は巨大魚付き林である。

日本では、昔から魚が捕れなくなると漁師は陸地に目を向けた。すると、山火事など陸地に大きな変化が見つかることがあつた。陸地には魚はいないが海にとっては重要であること、つまり森は魚を付けてくれることを認識していた。魚付き林は現在も農林水産省の制度として存在している。例えば、襟裳岬は魚付き保安林となっている。魚付き林は江戸時代（1600 年）の絵地図にもでてくる。

2. 親潮と陸域の淡水を介したつながり

アムール川と北の海の繋がりを 2005 年～2009 年まで地球研で研究したあと、北海道大学に戻った。低温科学研究所は雪と氷について研究する機関であるが、京都での研究を更に発展させるべく、陸地の研究者や海洋学の研究者たちで「環オホーツク観測研究センター」を設けた。陸地とオホーツク海、北極海を含めた北の海との関係を、学問分野も「海洋学」、「水文学」、「地理学」など様々な分野の研究者が集まって研究することにした。その研究の一つがオホーツク海と親潮の流れ、流れに乗って運ばれてくる物質、こういうものを総合的に見てみようというプロジェクトである。地球研での研究は、オホーツク海を流れる親潮にアムール川が鉄を供給する仕組みを解明することであった。ではオホーツク海の水はどこから供給されるのか。

(1) オホーツク海の海流の経路

調査して分かったことは、カムチャッカ半島の東側を流れるカムチャッカ海流と呼ばれる親潮が 2 つに別れ、一つが千島列島へ、もう一つはカムチャッカ沿岸流になり、オホーツク海の反時計回りに流れている。オホーツク海全体の海流の概要が解明された。

この海水が冬季にアムール川近くまで来た時に、海水となり高塩分濃度の海水が海底に沈降し垂直循環する。その後、鉄を含む高塩分濃度の海水は東樺太海流によりブッソル海峡を出て親潮と混合する。

(2) 凍る海水の塩分濃度の低下傾向

アムール川河口はシベリヤ大陸西側で発生する冷たい寒気により非常に寒く、海水もこの寒さで凍りその結果垂直の循環が生まれる。しかし、過去 50 年間でこの周辺海域の塩分が薄くなっていく傾向が認められた。これは垂直循環が弱くなっていることを示している。薄くなる傾向はカムチャッカからアムール川河口に近づくにつれて強くなってきている。

- ① オホーツク海の氷ができる場所で塩分濃度が低くなってきている。
- ② しょっぱい期間と甘い期間が交互に出てくる。
- ③ アラスカの沖合で生じたしょっぱい水は数年後に次の海域で出てくる。
- ④ しょっぱい水は東から西に伝搬しているように見える。
- ⑤ しょっぱい水と甘い水の原因はアラスカ側に原因があることが分かった。
- ⑥ 甘い水と降水量は正の相関関係があった。

カムチャッカ半島の雨を含む河川水によって塩分濃度が低下した沿岸水は海流にのってアムール川沖合にまで移動するようだ。遡るとこの雨と沿岸水の関係はアラスカまで及ぶと考え、カムチャッカ半島諸河川の海域への供給水量を調べている。

(3) 垂直循環劣化のもう一つの原因（温暖化）

いろんな観測データで地球の温暖化がかなりはっきりとわかってきた。この影響によるのかオホーツク海に海氷ができにくくなってきている。氷ができなくなると氷の下に重い水ができにくくなり、垂直循環が弱くなる。その結果、アムール川が運んできた鉄を含む海水が親潮海域まで運ばれなくなり、親潮のプランクトン生産が低下することがかなり蓋然性を持って見えてきた。太平洋のポンプともいわれているオホーツク海の氷はオホーツク海の冷たい水をアラスカの沖合まで伝搬させているという科学的なデータもあるが、この循環が弱まっている。このことは観光にも影響があり、流水が見られないことが増えてきている。

(4) アムール川流域の人間活動による環境への影響

鉄の供給地であるアムール川流域の土地が改変されて、鉄の供給量が減る可能性がある。アムールの鉄を減らす人間による要因は

- ① 湿地の干拓（畑地・水田化）
- ② 多国籍企業による大規模な森林伐採（皆伐、乱伐）
- ③ 森林火災 の 3 つである。

これらはすべては土地を乾燥及び酸化的状態にさせて鉄が溶出しにくくしたり、鉄と結合して溶存鉄を作る腐食物質を減らしたりしている。その中でもアムールとウスリーと松花江が合流する地点にある湿原が水田化により大きく減った。戦後、北海道の農業技術が黒竜江省に広がり、寒冷地でもコメ作りができるようになった。ここは中国では三江平原（日本の 1/4 の面積）と呼ばれている。中国最大の湿原であったが、この 20 年間で半減した。

3. 北東アジア・極東の陸・海を対象とした越境環境保全

京都の総合地球環境学研究所での研究結果を論文にして、研究プロジェクトは終了したが、この研究所は、自然環境の問題は自然科学で解決できる問題ではなく、人間の文化の問題であることを理念とし、そこまで追求することを求められている。これをどうやって解決するのかはなかなか難しいが、今日の最後のテーマとして、この問題への取組みを紹介する。

- (1) ちょうどその頃に田中先生に出会って先生と畠山さんの気仙沼の取組を知り、それが非常に大きなヒントになった。「森は海の恋人」や「魚付き林」の考え方をこの問題に応用すれば解決策は見出せなくても一歩踏み出せるのではと思った。



2011年6月 気仙沼

- (2) モンゴル、ロシア、中国の研究者とこの問題を話し合った。三江平原は湿地を水田化したのでコメが良く採れる。しかし、皮肉なことに湿原を干拓した後、コメ作りに利用していた地下水が枯渇した。この原因は地下水の過剰な汲み上げであった。今では、干拓を中止している。彼らは自分たちもいい方向に進み、下流にも悪い影響を与えない方法を考え始めている。
- (3) 漁民が山に木を植えると言っても、アムールの場合漁民は日本人であり、ある意味それは国際問題である。ロシアに行って木を植えることは現実的でないと考えていた。しかし、驚いたことに植林する団体が日本にいた。私も認識を新たにした。とは言うものの植林だけでは解決できない。
- (4) そこで、現存の法的枠組みなどを洗い出し、それが使えるかどうか検討した。各国間に自然を守る仕組みがあった。何れも限られた部分を守る仕組みではあるが、例えば湿原を守るラムサール条約、世界遺産（自然）条約などである。
- (5) 海に関してはバルト海・沿岸国の一体的な取組を参考にした。この取組はヘルコムと呼ばれている。富栄養化で死の海となったバルト海はこの取組で改善されつつある。現在は EU とも連携しながら進めている。
- (6) オホーツクも多国間で問題共有して、少なくとも科学的立場に立つての議論を共有する場が必要だろうと考え、2009 年 11 月に日本・ロシア・中国の研究者と国の機関（日本とロシア）が入ってオホーツク海のシンポジウムを開いた。これをきっかけにそれ以降、二年に一回国際会議を開いてオホーツク海の問題を共有することとなった。2011 年には国連にも来ていただきワークショップを開いた。また、三井物産にも援助していただき、日本だけでなくロシアや中国でもこの会議を開いた。ロシアとの二国間協議では私は 6 年前から委員長を務めている。今年は 3 月に東京で会議を開いた。

(7) 我々日本側は、アムール川的环境がかつてと同じようにある程度維持されてオホーツク海との物質や水の流れがきちっと保持していくことに対する技術協力は惜しまないと伝えてある。彼らもそれは理解しているはずである。

ご清聴ありがとうございました。

【Q & A】

Q 1 : オホーツク海域はクジラにとってどのようなところですか？

A 1 : 私の専門ではないので一般論だが、この海域は世界的にもプランクトンの生産量が高い。その結果として漁獲量も突出して高い。大型魚類、海洋哺乳類のエサが多い海である。マグロもクジラもやって来る。この環境は鉄が支える生産性がベースとなっていると思います。

Q 2 : 大きな川とプランクトンの研究は他にもありますか？

A 2 : 沢山あります。アマゾン川の大西洋に対する影響の研究など。しかし、アムール川が他の川と違うところは、アムール川周辺海域は氷が張り、垂直の循環を作ることです。他の川は沖合に対するインパクトは小さい。そういう意味でアムール川はかなり特殊だと思います。北極海に流れるオビ、エニセイ、レナ川やマッケンジーの川はアムール川と同じような機能があると考えますが、残念ながら北極の研究はここまで進んでいません。

Q 3 : インド洋や大西洋の垂直循環と太平洋とのつながりはどうですか？

A 3 : 南極とグリーンランドでできる重い水はオホーツク海に比べて圧倒的に規模が大きい。この循環は世界の他の海の循環を決めています。はっきりわかっているのは太平洋と大西洋の北側で、南極は研究中です。グリーンランド（大西洋の北側）の沈み込みは少し弱まっている。世界全体で温暖化が循環を弱めている傾向にある。インド洋や大西洋の垂直循環と太平洋とのつながりはまだ分かっていません。

【田中 克先生コメント】

一年間には非常に多くの研究論文が発表されますが、それを生かして問題を解決する実践や行動は多くなく、このままでは地球環境は子どもたちや孫たちまでには何とか持ちこたえても、その先は果たして大丈夫なのだろうか？と心配が募るばかりの昨今です。しかし、それを止めたり、少しでもまともな方向に変えたりすることはできていなく、ここにジレンマがあります。

科学者もデータを集めるのにウェイト置いた研究の世界から中々抜け出せない中で、白岩先生はそれを乗り越えて、地球環境に対する危機意識を持ち、問題解決のための行動をされています。現場で実感したからこそ踏込んだ行動ができるのだと思います。研究の前線で苦労しながらデータを集積し、そこからなすべきことを考えて行動されている白岩先生のお話を聞き、あらためて感動しています。

時々ここでも話すことですが、物事を考えるときの軸として空間と時間があります。空間軸は今日の場合、北太平洋のオホーツク海と隣接する陸域という2次元から3次元の世界、つまり鉛直的な繋がりに広げていただきました。長い時間を通した繋がりを具体的なデータで説明していただきました。そして、何よりもこの講座の今年のテーマ「確かな未来の原点を探る」にふさわしく、原点に触れる知見を紹介していただきました。

私たちに残された時間は多くはないとしても、その方向へすこしでも舵をきれるようにしたいと思った次第です。ありがとうございました。

【記録者感想】

私は「森は海の恋人」という一冊の本に出会ってから森と海の関係性に興味を持ち始めました。その後、学問的にもこの関係性を解明すべく研究が開始された田中先生提唱の「森里海連関学」に出会いました。その前から所属していたシニア自然大学でタイミングよく田中先生のコーディネートによる地球環境「自然学」講座が始められることとなり今年で 5 年目を迎えますが、森と川と海の分野で実に多種多様な方面でご活躍されている先生方や市民の方から膨大でしかも貴重な情報をいただくことができました。

白岩先生の研究テーマは以前から存じ上げていました。それを知ったのは今から 9 年前の NHK スペシャル「日本列島奇跡の大自然」でした。森は海の恋人が地球規模で起こることを知って驚きました。幸い、昨年ロシアウスリータイガの自然観察会にも参加できまして、美しいハバロフスクの町から大河アムール川を見ながらこの関係性に思いを馳せることもできました。

今日の講演で、アムール川と親潮の関係性が非常によく理解できました。海底に滞留している栄養分(鉄)を光合成の可能な有効層まで届ける鉛直混合のことが特に理解できました。しかし、温暖化の影響でこの混合が弱まっていることは非常に気になるところです。

以上