

シンポジウム「陸と海の相互作用 —海は陸にどのように依存しているか?—」*のまとめ**

松田 義弘[†]・向井 宏^{††}・岸 道郎[#]

A Summary of the Symposium “Interaction between Land and Sea —How Does the Coastal Environment Depend on the Land?—”

Yoshihiro Mazda, Hiroshi Mukai and Michio J. Kishi

1. シンポジウムの趣旨

沿岸域が海洋全体の生物生産に果たす役割は地球温暖化にともなって見直されている。UNESCO 出版の *The Sea* (Vol. 10¹⁾, 11²⁾) においても沿岸と沖合の相互作用がテーマとしてとりあげられている。沿岸海域の生物生産が大きいのは、ひとつには沿岸湧昇や境界流の存在によるが、それにも増して陸からの負荷が大切なことはいうまでもない。一方、沿岸環境の荒廃に対する陸域の改変や森林伐採の影響も古くから指摘されている。河川流入にとどまらず、雨水の直接流入、覆流水、およびそれらに含まれる森林や農場からの栄養塩の付加なども見逃せない。また、森林、河川、河口、そして沿岸水域のそれぞれ独立した分野として発展してきた各領域を一連の過程として繋ぐ必要性が論じられるようになってきた^{3), 4)}。しかし、これらの個々の領域内部の振る舞いに関する知見に比べて、相接する領域の間の繋がりに関する知見の現状は経験論的であり、定量性に欠ける。相接する領域の過程をダイナミックに繋いで、領域間の直接的相互作用を追及する、例えば、河川流量の増大によって河口の潮汐がどのように変わり、その変化の過程が沿岸環境をどのように変えるかといった研究⁵⁾は極めて少ない。

そこで、本シンポジウムでは、陸と海の接合点に的を絞り、特に、海が陸から受ける影響という観点で、まず、

沿岸域の海水運動を特徴づけるものとして、地形、淡水流入、潮汐の物理過程とこれらの相互作用の知見を整理する。次いで、陸からの物質流出、陸域の改変による沿岸環境の応答を現地観測結果およびモデルにより追う。これらの話題に基づいて研究の現状を整理することにより、陸域と海域の相互作用が重要であることを再認識し、これからの沿岸海洋研究の方向性を探ることにした。

2. 話題の概要

最初に、笠井亮秀氏(京大院・農)に、「河川水と海水の接合点」と題して、沿岸域における支配的な流動である密度流、潮流、吹送流の物理過程を総括して頂いた。特に、陸からの淡水流出(密度流)により形成されるエスチュアリー循環が、陸(河口)から流出する有機物の沈降、堆積に重要な役割を果たしていること、さらに内部モードのコリオリ効果を無視できない場であることが指摘された。さらに、沿岸域では、生態系に影響を与える物理過程として半日～1ヶ月程度の流況変動の詳細を追及する努力が必要であると主張された。万田敦昌氏(長崎大・水産)には、「淡水流出に支配される沿岸海域の流れ」と題して、上記の陸水起源の密度場、密度流に対する地形、潮流、風の影響に関するこれまでの知見を紹介して頂いた。密度場の形成に陸水の流出が支配的である沿岸域(ROFI; Region of Freshwater Influence⁶⁾)での海水流動の特徴が解説され、その上で、地形、風による密度場の変動、また流れと密度場の間の非線型の相互作用の解明が沿岸域の海況形成の理解に欠かせないと指摘された。金澤延幸氏(国土環境)には、「氾濫原の流れ」と題して、干潟域における潮汐に対する地形の影響を、マングローブ域の例で紹介して頂いた。陸への接合域として、また陸域と海域を交互に繰り返す干潟域の生態系の重要性にも拘わらず、ここでの海水流動の追及は遅れ

* 本シンポジウムは平成14年3月27日、東京水産大学において開催され、8つの講演と活発な総合討論が行われた。

** 2002年4月30日受領、2002年4月30日受理

[†] 東海大学海洋学部

^{††} 北海道大学北方圏フィールド科学センター

[#] 北海道大学大学院水産科学研究科

連絡先: 松田義弘, 東海大学海洋学部

〒424-8610 清水市折戸3-20-1

E-mail: mazda@scc. u-tokai. ac. jp

ていると指摘された。さらに、河口を遡上する潮汐によって生じるマングローブ樹林（氾濫原）への膨大な海水氾濫量はフィードバックして河口の潮流流速を大きく変えること、その効果として、河川上流域の樹林の伐採や埋め立てが湾の外側での大規模で長期にわたる海岸浸食の原因となっていることが紹介された。

次いで、上記の物理過程に応答する沿岸環境、生態系に関して、田中勝久氏（中央水研）に、「土壌流出によるリン負荷の沿岸環境への影響」と題して、河川からの陸水流出量あるいは流出物質に沿岸環境がどのように依存しているかを、矢作川（知多湾）、大田川（広島湾）の観測例で紹介して頂いた。河川からのリン負荷の大部分は増水時に集中する陸上荒廃地からの流出土壌によっており、沿岸海域のリン循環の解明には出水時の集中的土壌負荷とリンの特異反応、浮泥の挙動追究が重要であると指摘された。大見謝辰男氏（沖縄・衛生環境研）には、「赤土流出によるサンゴ礁の汚染」と題して、沖縄における赤土流出とサンゴ礁生態系の現状と特異性、その調査方法と赤土流出防止対策を紹介して頂いた。沖縄地域での土壌流出の特徴として、①有機物が少なく、分散しやすい土壌、②急峻で河川が短く、短時間で雨水が海に到達する地形、③スコール性の強雨という自然要因とともに④土地開発などの人為的インパクトが指摘された。そして、降雨時に赤土が流出してから礁原での波浪による巻き上がりでサンゴが赤土で覆われるまでには時差（time lag）があり、土壌流出と生態系への影響の間の時空間的物理過程の重要性が指摘された。小松輝久氏（東大・海洋研）には、「陸域の改変と沿岸生態系の変化」と題して、人為的な陸域の改変が沿岸生態系に与える影響を、①生物の生息場所を消失させる直接的影響と②生物活動に必要な物質分布を変化させる間接的影響に分けて、それぞれの例を整理・紹介して頂いた。特に、間接的影響は土地改変後の地形の二次変化や物質輸送量の変化などの物理過程、またこれらに依存する生物活動の応答のように現象が顕在化するまでには長時間を要するため、忘れられがちであり、さらにこれらの過程が非線型的であるため、予測が難しく、見逃されがちであることから、現象の時間・空間スケールを考慮した追究の必要性が指摘された。北澤大輔氏（東大院・工）には、「陸域からの物質負荷量に対する東京湾の水質の応答」と題して、陸域からの物質負荷量と湾内の水質分布との関連性を数値シミュレーションで検討して頂いた。人間活動の影響を大きく受けた閉鎖性内湾である東京湾では、河川からの有機物および栄養塩の流入負荷量の減少が植物プランクトンの一次生産を抑えることにより、CODを有意に低くすることが指摘された。最後に赤羽

敬子氏（北大院・水産）に、「陸域・海域総合モデル－2－貧栄養海域」と題して、河川水による栄養塩負荷が内湾の生態系に与える影響を、三次元の物理－生物結合モデルで紹介して頂いた。ここでは、厚岸湖（北海道）を例として、河川からの栄養塩負荷および河川水量の長期的変化と降雨などによる短時間変動に対する湖（湾）内生態系の応答が示され、生態系の要素によって陸域からのインプットに対する応答に差のあることが指摘された。

3. 討論とまとめ

上記話題の詳細については各講演者に次ページ以降の寄稿をお願いしたが、当日の話題提供と参加者の質疑および総合討論を通じてまとめられた現状の認識および今後の課題を以下に記す。

3.1 陸に対する沿岸域の応答のローカル性と多様性

笠井氏、万田氏が共通して述べたように、陸水の流出は外洋水との間に密度勾配をつくり、鉛直循環流（エスチュアリー循環）を形成し、この循環流量は時には陸水流出量の20倍ほどにもなる⁵⁾。また、密度成層の形成により、湾の空間スケールによっては内部モードのコリオリ効果が湾内の水平流動パターンを支配し、地形的に狭い湾であっても全球的作用が無視できないことを再認識せねばならない^{6), 7), 8)}。一方、大見謝氏が沖縄の特異地形での赤土流出を例に指摘しているように、陸からの淡水流出の形態、海水（波浪）の振る舞い、そして海域環境への影響は個々のローカルな陸岸・海底地形に依存して全く異なったものとなる。金澤氏がマングローブ域の例で指摘しているように、氾濫原や干潟の中を蛇行する滞の存在、そしてここでの植生分布は潮汐・潮流の振る舞いを大きく支配する。さらに、湾奥あるいは河川上流部の地形改変であっても、湾内だけでなく、湾の外側の環境をも直接的に、また間接的に変えてしまうことに注意せねばならない。これらは、現在、沿岸域の環境アセスメントで常套化している狭い対象領域を設定した、またその一方で、汎用性を強調してローカル性と多様性が無視された数値シミュレーション手法に対する重要な警告となろう。

3.2 負荷と応答の非定常性

次に、沿岸海域環境の形成に対する陸からの入力（負荷）の時間変動とそのスケールに注目せねばならない。田中氏、大見謝氏が、多くの河川からのSS負荷量に関して、年間総量に占める増水時の割合が大きいと指摘しているように、陸水の流出、そして陸水に含まれる物質の流出は決して定常でなく、多くの場合が一過性である点に注目せねばならない。さらに、陸水が流出してから

海域の生態系に影響が出るまでの物理過程(大見謝氏), また, 陸域の改変が海域での変化として応答し, 顕在化するまでの過程(小松氏)の時間依存性が解明されねばならない. 観測による現象の把握, および数値シミュレーションの実行においても, 陸からのインプットから海域での応答に至る過程を非定常あるいは遷移過程として捉えることが必要である. 赤羽氏が紹介した遷移過程に関する数値シミュレーションの今後の展開が期待される.

3.3 負荷から応答への非線型過程

入力(負荷)に対する出力(海域の物理過程, 生物過程)の応答が極めて非線型的な場が陸と海の境界部である沿岸域の特徴といえる. 例えば, 宇野木⁵⁾によれば, 河川~河口域では, 河川流と海洋波動(潮汐, 高潮など)の相互作用が顕著であって, 極めて非線型的であるという. これまでは陸から切り離れた海域だけを対象領域とし, 陸域は単なる境界条件と考えてきた. 非線型過程の生じている陸域と海域の接点を中心とする領域を対象とした追究が必要である.

沿岸海域では, 荒天時の測定は現在でも困難であり, 我々の知見は必然的に静穏時のデータに基づかざるを得ない. しかし, これらの静穏時のデータはそれ以前に陸域から負荷された一過性変動による結果と認識せねばならない. 即ち, 静穏時の海域を対象とするときにも, 陸域からの過去の負荷の経時変化を無視してはならない. 入力と出力の間の非線型効果を考えると, 一過性負荷を静穏時を含めた時間平均値で置き換えて入力してはならないといえる.

3.4 内陸~海域を一連の過程として

本シンポジウムでは最初に述べたように, 陸から海へ

の影響を, 特に, 陸と海の境界部分を対象として追究した. 海から陸への影響, 海と陸の相互干渉, また, 干潟~河口~河川~内陸部までの一連の過程をテーマとする研究の蓄積が今後の課題であろう. そして, 陸域の利用形態や土壌の質, 田畑の区画の大きさ, 陸水の流出形態などの陸域過程を組みこんだ沿岸域モデルの完成を目指したシンポジウムが近い将来に開かれることを期待したい.

最後に, 本シンポジウムにおいて話題を提供して頂いた講演者, 座長, 討論に参加して頂いた参加者の諸氏に深甚なる謝意を表する.

引用文献

- 1) Brink, K. H. and A. R. Robinson (1998): The global coastal ocean: Processes and methods. The Sea, Vol. 10, John Wiley & Sons, Inc., New York, 604pp.
- 2) Robinson, A. R. and K. H. Brink (1998): The global coastal ocean: Regional studies and syntheses. The Sea, Vol. 11, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1062pp.
- 3) 水産海洋学会 (1997): 水系をつないだ生態系研究―統合的な沿岸の管理の可能性を探る. 水産海洋研究, 61, 179-206.
- 4) 海洋出版 (2000): 山地・河川・海岸を通じての物質移動―その環境・防災科学的意義―. 月刊海洋, 32, 135-200.
- 5) 宇野木早苗 (2001): 川と海の関係―物理的観点から. 沿岸海洋研究, 39, 69-82.
- 6) Simpson, J. H. (1997): Physical processes in the ROFI regime. J. Mar. Sys., 12, 3-15.
- 7) Fujiwara, T., L. P. Sanford, K. Nakatsuji and Y. Sugiyama (1997): Anti-cyclonic circulation driven by the estuarine circulation in a gulf type ROFI. J. Mar. Sys., 12, 83-99.
- 8) 松田義弘 (1999): 浜名湖水のふしぎ―内湾の自然と海水の動き―. 静岡新聞社, 155pp.