

小アラル海の再生に向けての安定同位体による食物連鎖の解明

京都大学 大学院地球環境学舎 沿岸域生態系保全論分野

博士課程 3年

尾関 梨恵

1. はじめに

かつて湖面積においては世界4位であったアラル海(中央アジア、カザフスタン・ウズベキスタン)の環境破壊は20世紀最大の環境問題とも言われ、湖の自然環境、地域の社会環境にもたらした被害は計り知れません。このアラル海の環境破壊の背景には、旧ソ連時代に始められたアラル海に注ぐ2つの流入河川(アムダリアとシルダリア)流域における大規模灌漑農業があります。もともと乾燥地帯で灌漑農業に不向きな土地であったものを灌漑農地にするために、河川から大量の取水をしたために、1970年代からアラル海への河川流入量が激減し、急激な湖面積縮小・塩分濃度上昇が起きました。その結果、沿岸湿地帯の消失や耐塩性の弱い淡水種の減少・絶滅を引き起こし、アラル海全体の生態系と漁業が壊滅状態に陥りました。このアラル海の縮小は自然環境だけでなく周囲の地域の社会生活環境にも影響をもたらし、漁業壊滅による失業率上昇、漁業都市からの人口流出、また、砂漠化した旧湖底から舞い上がる砂塵による呼吸器系障害などさまざまな被害を引き起こしました。これらの問題は、1980年代より危機が指摘されていたにもかかわらず、河川流入量を増やすという決定的な解決策を試みられることなく、ソ連が崩壊し、現在ではカザフスタン共和国とウズベキスタン共和国の国境にまたがる湖となってしまったために、問題解決がさらに困難となり、湖面積がかつての50%以下という悲惨な状況に至っています。

しかし、近年、カザフスタン共和国政府はこれらの環境問題の緩和を目的として、北の小アラル海と南の大アラル海を分断するダムの建設を進め、カザフスタン領の北の小アラル海のみ再生を図るプロジェクトを進めています。これは、ウズベキスタン側の大アラル海の注ぎ込んでいたアムダリアからの流入量は現在ではまったくなく、カザフスタン側のシルダリアしかアラル海に到達していないためです。カザフ政府の計画はシルダリアの流入水をダムによって小アラル海内に留め、小アラル海の湖面積を数m回復させ、また流入量と水位をコントロールすることによって、湖の水位を安定させる。最終的には、水位安定により小アラル海の生態系の再生、そして漁業の復興を目的としています。このアラル海ダムは2005年11月に完成し、完成に先駆けて同年8月に小アラル海と大アラル海を結んでいた Berg straight が閉め切られました。このような背景を踏まえ、本研究ではこれまで、現地調査の困難さからあまり調査されてこなかった生態系の構造についての情報を補い、さらにダムの効果を生物学の側面から評価するために、ダムが閉め切られた時点での食物連鎖の構造がどのようになっているか解明することが重要だと考えました。

2. 研究の目的

そこで、本研究では2005年の8月における生態系の構造を解明すべく、次の研究目標を立てました。

- I. ダムが閉め切られた時点での小アラル海の主要な食物連鎖を識別すること
- II. 主要な食物連鎖に属する生物の現存量とその分布を明らかにすること

生態系の構造を食物連鎖と、生物の現存量とその分布は、ダム建設プロジェクトの最終目的である、生態系再生・漁業復興のための生物学的に重要な情報であり、ダムの生態系再生への効果の評価を行う上で、今後の生態系再生過程のモニタリングには必要不可欠な情報だと考えました。なお、本研究の生態系の構造解明において、小アラル海に棲息する魚種のうち商業価値の高いコイにつながる主要な食物連鎖の構造に重点をおいて、調査・研究しました。コイについて

の食物連鎖を解明し、コイの漁獲量増加についての提言をすることにより、漁業の発展、さらには漁業収入の安定に伴う地域社会の再生につながればと、考えました。

3. 研究の方法

調査時期: 2005年9月と2006年6月(補足調査)

調査地: シルダリア河口域と小アラル海北岸のタストベック半島沿岸(図1参照)

シルダリア河口域は、沿岸1kmほど水深1m未満の遠浅が広がり、シルダリアからの塩分濃度の低い流入水の影響で、一帯の表層は塩分濃度が低い。またアラル海縮小期間中には、湖岸線の激しい移動に伴う河口域湿地帯の喪失で、生物の生態環境の変動が大きかった地点であり、シルダリア流入量の激しい年間変動のために、水位が下がると干潟となることもある。一方、小アラル海北岸のタストベック半島は沿岸は緩やかな傾斜となっていて、アラル海縮小時に湖岸線の移動が比較的少なかった地点で、また、小アラル海内の海流の関係で、塩分濃度が最も高い地点。

調査方法:

【水質】両調査地の観測地点において、水深と塩分濃度の指標となる電導率をHoriba U-22水質計を用いて計測する。

【植物プランクトンと底生動物の現存量調査】プランクトンは、表層水を採取し、底生微小藻類は直径5cmのプラスチックコアで、底泥の表面のマットを採取し、一定量のろ過湖水に懸濁させた。そして、その表層水と底生藻類を含む水をグラスファイバーフィルター(Whatman GF/C 25mm)で一定量をろ過した後、乾燥させて持ち帰り、Aceton:DMSO=1:1溶媒に24時間浸し、色素を抽出し、蛍光光度計でクロロフィル a とフェオ色素の濃度を測定した。底生動物は、エックマン採泥器(15cm×15cm)を用いて、底泥を採取し、500 μ mのふるいで底泥を洗い、生物を乾燥させて持ち帰り、60℃のオーブンで一定の重量になるまで乾燥させ、乾重量を量った。

【窒素・炭素安定同位体比による食物連鎖の解明】生物間の食物連鎖の構造を明らかにするために、現地で生物試料を採取し、乾燥させて持ちかえり、元素分析計付き質量分析計(Finnigan MAT delta-S、京大大学生態学研究センター)にて生物内の炭素と窒素同位体比を分析した。窒素同位体比は栄養段階がひとつ上がると3~5%上がり、炭素同位体比は栄養段階が1つ上がると約1%上がることが経験則によって知られている。そのため、生態系の食物連鎖の解明によく使われる手法である。なお現地での生物採取は以下のとおりに行った。植物プランクトンは40 μ m以下の表層水をグラスファイバーフィルター(Whatman GF/F 25mm)でろ過し、乾燥させて持ちかえった。動物プランクトンは、40-200 μ mの表層水をグラスファイバーフィルター(Whatman GF/C 25mm)でろ過し、乾燥させて持ち帰った。底生動物については、現存量調査用に採取した生物試料を分析した。水草帯に棲むエビ・ヨコエビは虫網で採集し、乾燥させて持ち帰った。魚類については、稚魚など小型のものは、虫網を用いて採取し、現地で乾燥させて持ち帰った。大型のものは地元漁師に依頼して、刺網にて獲った魚を一部譲ってもらい、背びれの下筋肉を一部切り取り、乾燥させて持ち帰った。水生植物については、観測地点付近に生えているものを湖底より上の部分から切り取り、乾燥させて持ち帰った。

4. 結果と考察

【水質】

シルダリア河口域における電導率分布(図2参照)は、シルダリアの甘い流入水(~2.5 mS/cm)が沖合い3kmまでの表層50cmに広がっているが、河口から2kmより沖合いの1m以下の深さでは、14 mS/cm以上塩水が湖底に広がっている。一方、タストベック半島沖では水深10mまでは17.8-18.0 mS/cmではほぼ一定であり、水深10m以下では、19 mS/cmほどになっていた。1996年9月の中原・辻村らの調査では、タストベック半島沖合い表層において、最高で33.7 mS/cmを記録、またシルダリア河口沖においても30 mS/cmを記録していて、当時と比較すると2005年9月の電導率はかなり低くなっているといえる。

【生物の現存量】

植物プランクトンと底生微小藻類のバイオマスの測定結果を表1と2にまとめた。タストベック沖とシルダリア河口沖において、植物プランクトンのバイオマスはかなり低く、小アラル海が貧

栄養湖であることを示している。一方、底生微小藻類のバイオマスは高く、シルダリア河口域一帯においてはプランクトンよりも、底生藻類による一次生産が主であることが明らかになった。底生動物については、シルダリア河口域の沿岸部において、カワゴカイ *Hediste diversicolor* の大発生が観測された(図3参照)。2002年夏の中原・辻村らの報告によると、シルダリア河口域一帯では、著しく発達した珪藻マットが観察されたが、それをエサとしていると思われる底生動物はほとんど見られなかった。2005年9月においては、河口域における底生珪藻のマットは2002年夏の時ほどの発達はしていなかった。これは *H. diversicolor* が発達した珪藻マットをエサとしているため、*H. diversicolor* の個体数が増加した一方で、エサの底生珪藻のマットが減少したと推定される。

【窒素・炭素安定同位体比による食物連鎖の解明】

図4はシルダリア河口域一帯で採取した生物試料内の窒素・炭素同位体比マップである。図が示すとおり、大量発生が見られたゴカイは底生珪藻をエサにしている、さらにコイはゴカイとリュウノヒゲモなどの水生植物を雑食していることが明らかである。これによって、商業的に価値のあるコイの個体数を増加させるためには、底生動物の個体数増加、さらには多様性の増加を促進する必要がある。底生動物にとって適した生息環境は、水位安定が必要条件であるので、ダムによる水位安定はコイの漁獲量増加に有効な手段だと言える。

図5はシルダリア河口域の水草帯で採取した生物の窒素・炭素同位体比マップである。水草帯には、エビやヨコエビが多く生息し、それらもまたゴカイと同じように稚魚のエサとなっていることが分かる。コイの個体数を増加させるためには、成魚のエサの増加も大切だが、稚魚の生育場所、エサとなる生物の育成も重要である。エビやヨコエビの多く見つかる水草帯は、ヒロハノエビモやリュウノヒゲモが優先していて、これらの水生植物が繁茂するような沿岸湿地帯の形成は、水位安定が必須条件であり、ダムは水位の年変動をコントロールするため重要だと言える。

5. まとめ

本研究ではダムが閉め切られた時点での生物の現存量を調査し、食物連鎖の構造を解明しました。よって2005年9月の時点での小アラル海の生態系では、底生生物から魚類につながる食物連鎖と、水草帯の食物連鎖が、魚類の増加には重要な食物連鎖であることが判明しました。ダムによる水位安定という方法は、生態系再生、具体的には漁獲量増加に対する解決策として有効と言えますが、今後の課題として、ダム閉め切り後も継続して、生態系の構造についてのモニタリングをし、漁業規制や保護地区の設定などの方法を導入していけば、持続可能な漁業が実現でき、さらには地域社会環境の改善にもつながるのではないかと考えられます。

6. 成果発表

- ▶ 「アラル海の生物相—小アラル海の縮小に伴う生態系の変化と近年の回復—」 ○中原紘之、尾関梨恵(京都大学大学院地球環境学堂)、辻村茂男(滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター)、石田紀郎(京都学園大学 バイオ環境学部)、シンポジウム「アラル海の縮小に伴う環境問題と付近住民の健康被害」、2005年11月12日、コラボしが21
- ▶ Recent changes in ecosystems of Northern Coast and Syr-darya Delta of the Small Aral Sea. 2005. H. Nakahara, S. Tsujimura, R. Ozeki & N. Ishida. Proceedings of the International Symposium Children's Environmental Health for a Sustainable Future-Focus on Aral Sea Region, 69-73 (in Russian), 89-92 (in English)

表 1&2

表 1 シルダリア河口域における底生微小藻類のバイオマス (2005 年 9 月)

Stations	Depth (m)	EC (mS/cm)	Chlorophyll <i>a</i> (mg/m ²)	Phaeopigments (mg/m ²)
Syr delta 1	0.2	2.06	26.1	8.7
Syr delta 2	0.2	2.06	23.0	12.0
Syr delta 3	0.2	2.06	25.8	7.5

表 2 シルダリア河口域とタストベック沖合い表層における植物プランクトンのバイオマス
(2005 年 9 月)

Sites Phytoplankton	EC (mS/cm)	Chlorophyll <i>a</i> (mg/m ³)	Phaeopigment (mg/m ³)
Tastubek 沖合い 1.5 km	17.7	2.08	1.34
Tastubek 沖合い 3 km	17.7	1.03	0.98
Tastubek 沖合い 5 km	17.8	1.23	0.86
河口から 5km	7.13	2.28	2.18
河口から 2.5km	2.44	1.21	2.96
シルダリア河口	2.58	13.8	11.7

図 1-4

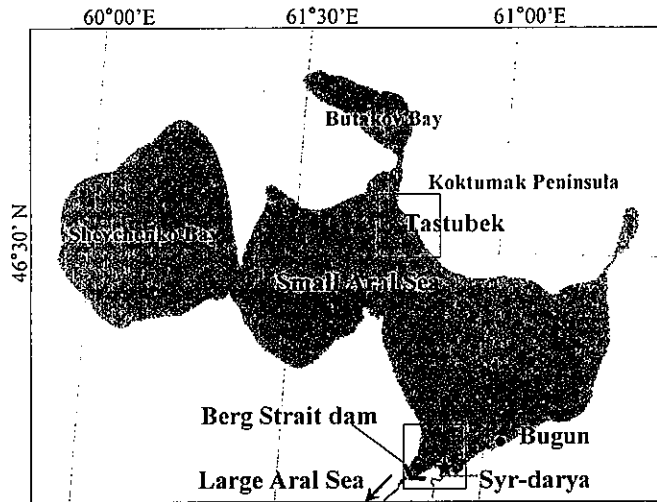


図1 The Small Aral Sea and sampling stations in 2005 and 2006

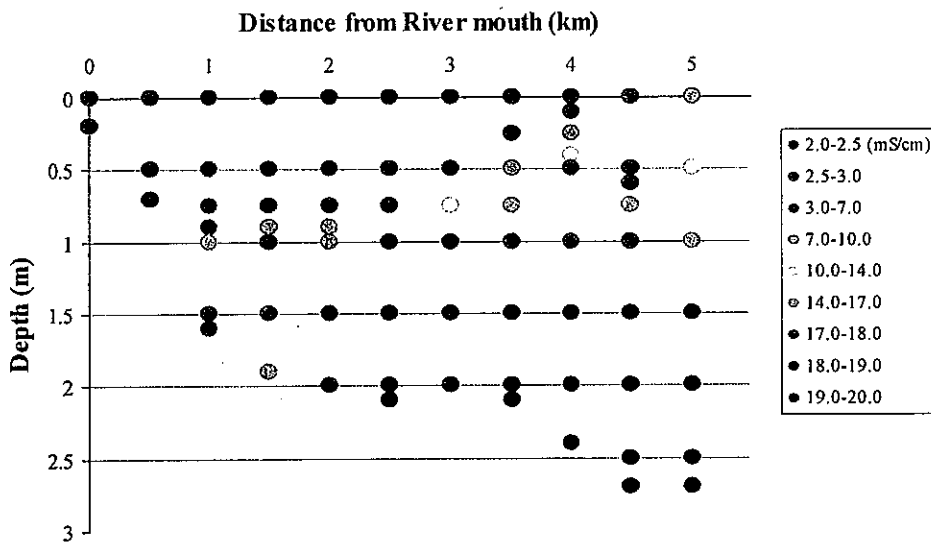


図2 2005年9月のシルダリア河口から沖合い5kmにかけての電導率

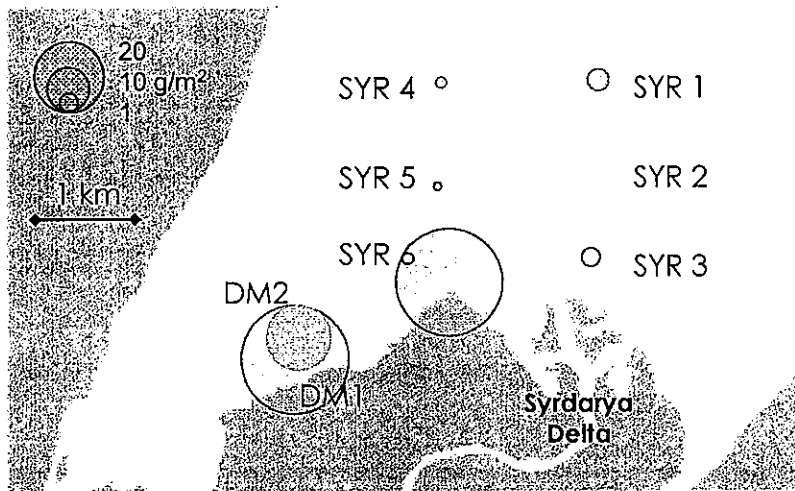


図3 シルダリア河口域における*H. diversicolor*の現存量分布

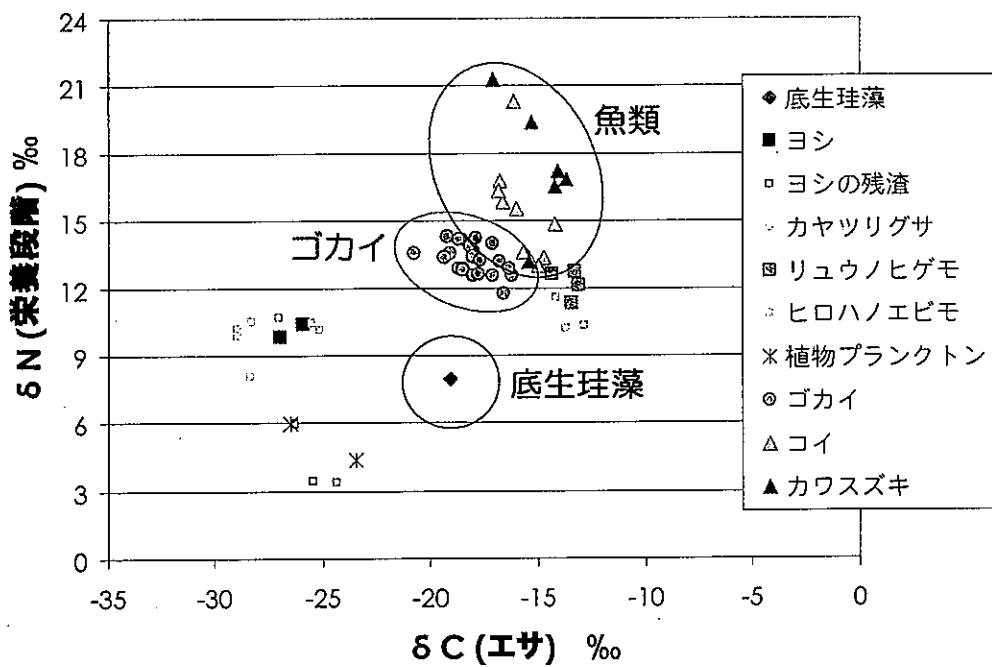


図4 シルダリア河口域におけるコイを中心とした食物連鎖

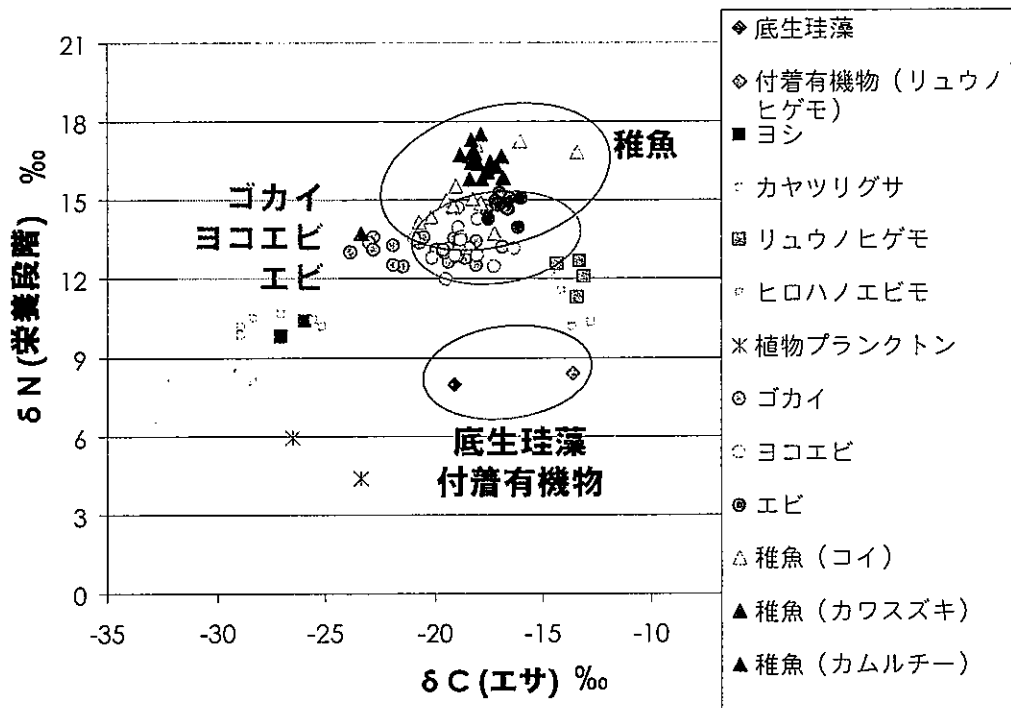


図5 シルダリア河口域水草帯における稚魚を中心とした食物連鎖