

漁業地区における循環型社会の形成について

APPROACH TO THE ESTABLISHMENT OF THE RECYCLING-BASED SOCIETY IN FISHING AREA

清田健¹・古屋温美²・関いずみ³・中泉昌光⁴・福岡康宣⁵・長野章⁶
Takeshi KIYOTA, Atsumi FURUYA, Izumi SEKI, Masamitsu NAKAIZUMI
Yasunori FUKUOKA and Akira NAGANO

¹株式会社エコニクス (〒004-0015 札幌市厚別区下野幌テクノパーク1-2-14)

²正会員 工博 有限会社マリンプランニング (〒060-0807 札幌市北区北7条西1-1-18)

³正会員 工博 財団法人漁港漁村建設技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

⁴財団法人漁港漁村建設技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

⁵国土交通省北海道開発局港湾空港部 (〒060-8511 札幌市北区北8条西2丁目)

⁶正会員 工博 公立はこだて未来大学 (〒041-8655 函館市亀田中野町116番地2)

In this study, the mass-flow of material in individual industries in fishing area is analyzed to show material balance, and to extract the problems in establishment of the recycling-based society. The analysis counting nitrogen as the index material results in following facts. The material flow in this area is not like closed-cycle caused by 3 problems, input mass exceeds shipment in agriculture, inflow material exceeds catch and outflow in lake Saroma, a larger part of raw material changed into wastes in marine product processing industry. To establish the society, 6 ways of measures are thought up, such as fertilizer and feed production from scallop viscera, fishing field development, promotion of lake water exchange and so on. The approximate costs to balance in lake Saroma is estimated and compared to the benefits (losses in case no measure were taken).

Key Words : Environmental policy, Recycle, Waste, Fishing area, Material flow

1. はじめに

漁業は陸域から海域にわたる生態系において、漁獲という形で組み込まれ、その行為を持続的に行うことを目的として、陸域や海域の環境保全が行われる。このような背景を踏まえ、水産業が中心的な産業である地区において、背後の林業、農業、畜産業から沿岸域の漁業までの物質循環を伴う生産活動および人間の生活を持続的に行うため、物質の流れが一方向にならず持続的に循環する社会システムを構築しなければならない。漁業地区において生産された物質の流れを整理し、その流れが持続的に循環するために必要な河川や海域における基盤整備および、現在法律などで規制されている一次産業から出される水産系廃棄物などの処理方式が検討されなければならない。そして基盤整備から生産活動に伴う廃棄物の処理まで全体を通したあるべき社会システムの構想が策定される必要がある。その後、物質の流れを、持続性を持った循環型に移行する際の障害となる法制的な規制の緩和や撤廃なども必要となる。また、河川や海域の構造物などの基盤整備や法制的な規制措置の緩和に対する効果が評価されなければならない。

筆者らは、北海道サロマ湖地区を事例に循環型社会としての産業と自然環境の保全について、物質循環の観点から検討した。サロマ湖およびオホーツク沿岸における物質循環の成果としての魚介類を対象とする漁業において完全循環していない現状について、産業別の物質収支から物質の流れの分析(MFA: Material Flow Analysis)を行った。次に物質循環の形成に必要な整備と不必要な規制ならびに人為的な管理を提案し、漁村における循環型社会形成が地区産業と環境に与える効果を評価した。

2. サロマ湖地区の概要と環境社会システム

(1) サロマ湖地区の環境社会システム

本研究では、北海道東部オホーツク海側に位置するサロマ湖地区(湧別町・常呂町・佐呂間町)を事例に取上げた。サロマ湖は二つの人工の湖口を持つ海潟湖であり、湖内では主にホタテの養殖業と外海のオホーツク海に放流するホタテ稚貝を生産している。その生産は約9万t、約132億円に及んでいる。陸域では小麦、ビート、カボチャなど農業と牛豚合計で約43,000頭に及ぶ酪農畜産業が営まれている。山林と原野は535haあり、林業を営むとともに湧別

川とサロマ湖を通じ有機分を含む森からの水を供給している。

MFAは、物質の流れの各段階において物質量を定量化し、物質循環の歪みを明らかにする分析手法である。サロマ湖地区の物質の流れの概念を図-1に示す。サロマ湖には陸域から農業や住民生活による物質（栄養・汚濁）が流入する。流入物質はサロマ湖やオホーツク海沿岸の生産物や底泥に転化し、漁獲という形で多量の水産物が取上げられたり、外海へ流出したりするが、残余の物質は堆積する。サロマ湖およびオホーツク海で漁獲として取上げられたホタテガイは加工処理され貝柱製品と貝殻やウロなどの廃棄物になる。当地区の物質の流れは閉じられた環になっておらず一方通行であり、物質循環が形成されていない。MFAにより問題を明らかにし、循環型とすることが本研究のねらいである。

人為的な環境保全には、人為的に循環を支援する動的環境保全手法が有効である。具体的には、リサイクルの積極的な促進、サロマ湖と外海の水交換保持や廃棄物の再生利用等のための基盤整備、廃棄物処理法による規制の緩和とともに貝殻等廃棄物の集積場や集配システムの整備等の措置が必要となる。

(2) サロマ湖地区の環境社会システムと意識のフロー

児玉ほか(2000)¹⁾は地区の漁業者および有識者はサロマ湖地区の産業、生活・文化、環境を構成している各要素間影響の相互関係を図-2のように整理している（マテリアルフロー関係要素を着色）。

サロマ湖地区のホタテ養殖は、12の要素から最も影響を与える要素として挙げられている。次いでサロマ湖が10の要素から最も影響を与える要素として挙げられている。ホタテ養殖を見ると、外海のオホーツク海と連結し海水交流の機能を持つ第一、第二湖口の開削や、ホタテ養殖の行われる場であるサロマ湖やオホーツク海、運営組織である漁業協同組合、流水やその対策としてのアイスブーム施設等が影響を与えている。また、農業や酪農要素についても、もっとも影響を与える要素がホタテ養殖となっている。これは、農業や酪農によるサロマ湖への汚染問題があり、漁業が単に水域のみではなく、陸域を含んだ地区全体との関わりの中で成立する産業であることの認識の表れと考えられる。植樹運動もホタテ養殖に影響を与える要素となっており、陸域から連なった全体の環境の中で漁業（ホタテ養殖）が営まれ、その保護のために植樹が行われているという明確な目的意識があることを示している。さらに環境要素のサロマ湖はカキ養殖やホタテ養殖、農業等地区の主要産業から影響を受けており、生活・文化要素の多くもサロマ湖に影響が集中している。以上のことが、サロマ湖地区の環境社会システムを構成している要素間の人々の意識のフローといえる。

環境社会システムが維持継続することは、その地区のマテリアルフローが持続的に循環することであ

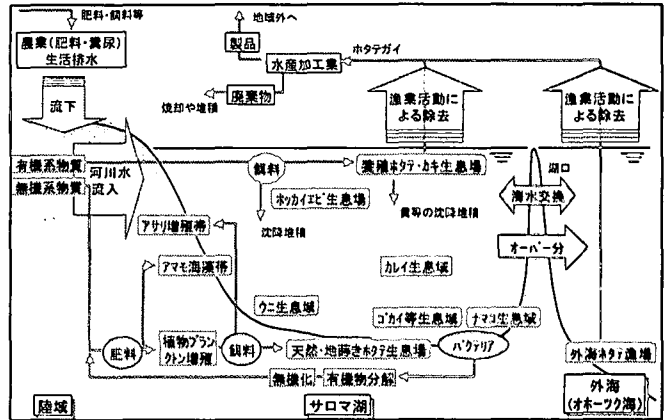


図-1 サロマ湖地区の物質の流れ(マテリアルフロー)の概念図

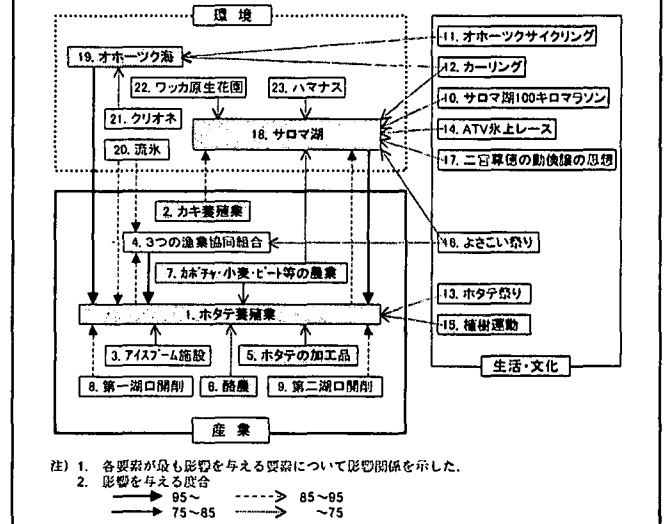
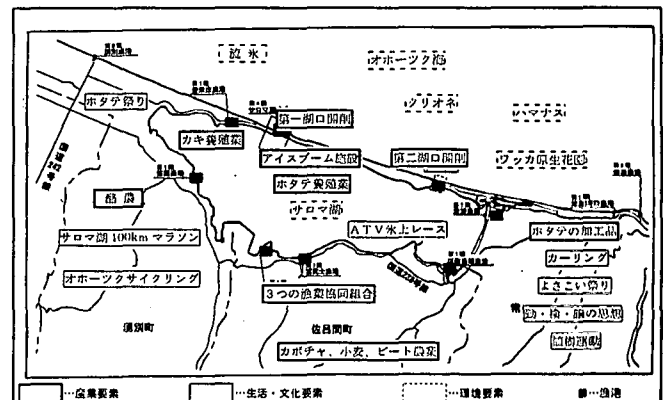


図-2 サロマ湖地区の環境社会システム構造
資料：児玉ほか(2000)¹⁾、古屋ほか(2002)²⁾より一部改変

り、そのために産業、生活・文化、環境を構成するすべての要素への認識が物質のフローとパラレルになることを意味している。この考えを元にホタテ養殖業を始め農業、酪農、水産加工業等の各産業要素におけるマテリアルフローを検討してみる。

3. サロマ湖地区におけるマテリアルフロー

(1) マテリアルフローの全体

サロマ湖地区の主要産業である農業（畑作，酪農畜産），漁業（サロマ湖内，外海養殖），水産加工業を対象とした分析結果を図-3に示す。指標物質は，含水率の変化や呼吸・光合成等の影響を受け難く，農業と漁業ともにデータが揃いやすい窒素とした。ただし，水産加工業については物質全体の重量（加工前の原貝に換算）も併せて分析対象とした。また，対象範囲は，陸上は湧別町・佐呂間町・常呂町の行政区域，海上はホタテ漁場のみとした。

以下には，窒素を指標とした産業別のフローと窒素収支の算定根拠を述べる。

(2) 産業別のマテリアルフロー

a) 農業（畑作）

地区内の農作物のうち牧草と飼料用トウモロコシ以外の耕作地を畑作とした。窒素収支の試算は，松本の方法³⁾を基に，収入として化学肥料，窒素同化および堆肥の窒素量を，支出として作物と流出物等の窒素量をそれぞれ対象として分析を行った。なお，出荷されない茎葉等は農地に鋤込まれることから，未利用肥料と同様に，いずれは降雨等により流出するものとして取り扱った。算定結果を表-1に示す。

b) 農業（酪農畜産）

酪農畜産は，根釧農試の事例¹⁰⁾を参考に，収入として濃厚飼料，化学肥料，窒素同化量の窒素量，支出として牛乳生産量，死亡・売却牛，ガス揮散，流出物質の窒素量，残余（系内残留物質）として牛の成長，残留・損失牧草，残留糞尿の窒素量を，それぞれ算定した。サロマ湖地区の実数算定ができない物質（ガス揮散，牛体成長以外の残留物質）は根釧農試の事例を基に按分する形で求めた。算定結果を表-2に示す。

表-1 農業（畑作）における窒素収支

収入 (kg N)		支出 (kg N)	
化学肥料	927,890	作物	570,083
堆肥	106,500	その他(流出)	486,259
窒素同化	21,952		

資料：作付面積⁹⁾，化学肥料使用量⁹⁾，堆肥使用量＝農協調べ，窒素同化量⁹⁾，収穫量・窒素含量⁷⁾⁸⁾⁹⁾

表-2 農業（酪農畜産）における窒素収支

収入 (kg N)		支出 (kg N)	
濃厚飼料	2,867,318	牛乳	702,272
化学肥料	114,155	売却・死亡	60,770
窒素固定	992,627	ガス揮散	684,455
		流出	427,785

残余 (kg N)	
牛体	122,453
損失牧草	162,558
残存牧草	359,339
残存糞尿	547,564
不明	906,903

資料：飼養頭数・作付面積⁹⁾，化学肥料使用量⁹⁾，乳タンパク含量⁹⁾，牛体タンパク含量¹¹⁾，育成牛・死亡牛・売却牛頭数および乳量＝農協調べ

c) 漁業（サロマ湖）

漁業（サロマ湖）のMFAは湖における窒素収支として行った。収入として河川水，カキ種苗の窒素量，支出として海への流出水，漁獲物の窒素量とし，差分が底泥への堆積とした。湖外への流出水量は河川水流入量からThornton法による蒸発量を減じて求めた。漁獲対象物は湖内を生活の場とする魚種（ホタテガイ，カキ，カレイ類，ホカイエビ，ウニ）のみとした。収支の算定結果を表-3に示す。

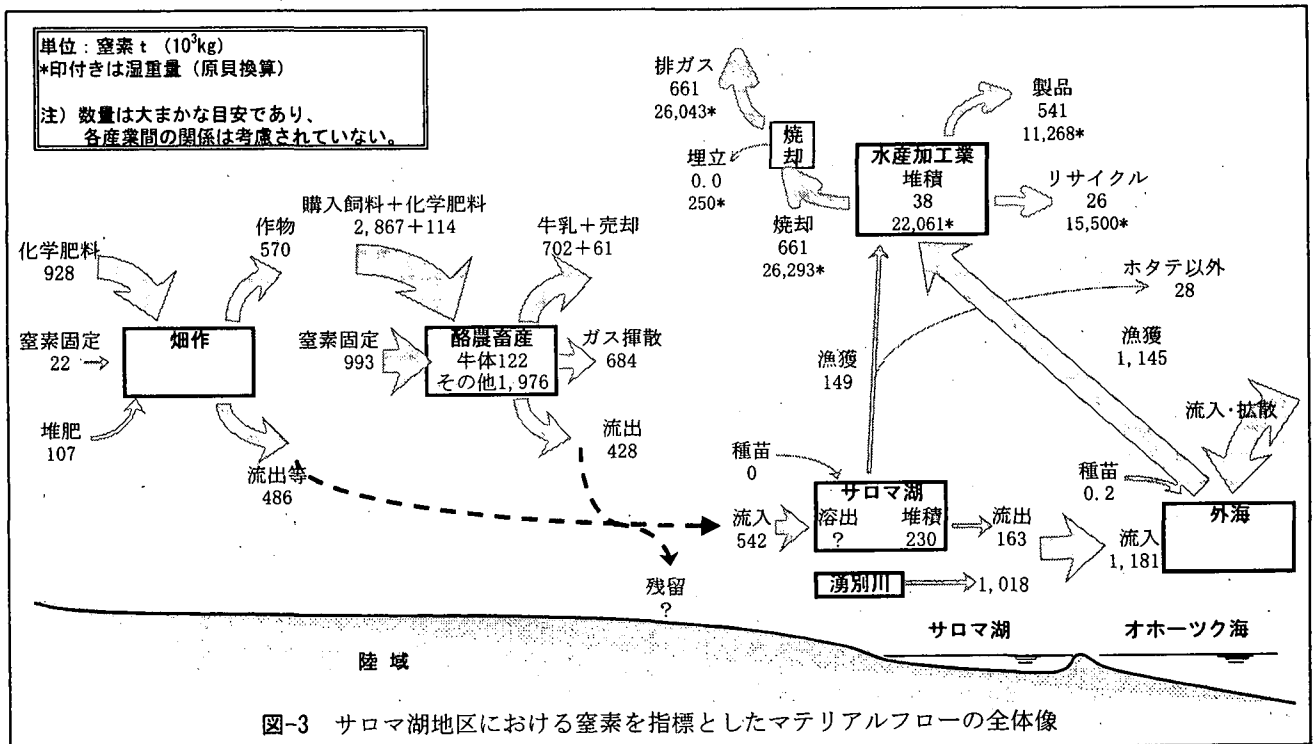


図-3 サロマ湖地区における窒素を指標としたマテリアルフローの全体像

d) 漁業（外海）

漁業（外海）は、開放性海域であるため海流等様々な物質の移動が考えられるが、ここでは地蒔きホタテガイ漁業の漁場のみを分析の対象域とし、収入は流入河川（サロマ湖と湧別川）及びホタテガイ種苗投入の窒素量、支出は漁獲したホタテガイの窒素量とした。収支の算定結果を表-4に示す。

表-3 漁業（サロマ湖）における窒素収支

収入 (kg N)		支出 (kg N)	
流入河川	541, 555	流出	162, 897
カキ種苗	9	漁獲	148, 539

残余 (kg N)	
堆積	230, 128

資料：河川流量¹²⁾、流入河川水質・種苗投入量・漁獲量=漁協調べ、湖水水質¹³⁾、水産物の窒素含量¹⁰⁾¹⁴⁾、貝殻の窒素量=(株)常呂町産業振興公社調べ

注) 水産物の貝殻以外は全て可食部として算定

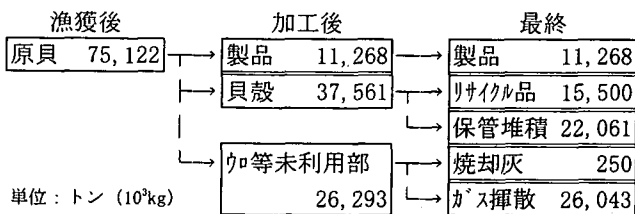
表-4 漁業（外海養殖）における窒素収支

収入 (kg N)		支出 (kg N)	
流入河川	1, 180, 657	漁獲	1, 144, 644
ホタテガイ種苗	211	その他	不明
その他	不明		

資料：河川流量¹²⁾¹⁵⁾、湖水水質¹³⁾、水産物の窒素含量⁹⁾、貝殻の窒素量=(株)常呂町産業振興公社調べ

e) 水産加工業

水産加工業のMFAは、漁獲された原料から加工後の副産物の流れまでについて行った。この際、窒素含有量の小さい貝殻の動きを無視することが無いよう、物質重量（原貝湿重量換算）で行った。結果を図-4に示す。



資料：漁協・町の資料およびヒアリングによる

図-4 水産加工業におけるマテリアルフロー

4. 持続的物質循環の形成

(1) 現状のマテリアルフローの問題点

MFAの結果から、産業別の物質収支の現状をまとめると表-5のようになる。この中で、環境負荷の原因となる問題点は以下のとおりである。

農業では、収入のうち地区外からのものは化学肥料と濃厚飼料である。これに対し地区外への出荷は農作物・牛乳等で、収入が支出を大きく超過している。超過分は地区内に残留し、牛体や残留牧草として482 tがストックされるほかは、糞尿等副産物の流出やガス揮散等の形で環境負荷となる。

漁業（サロマ湖）は、流入河川からの収入 542 t に対し、漁獲や外海への流出による支出は311 t で

あり、超過した 230 t が湖内に留まり、水質・底質の悪化を招く要因となっている。漁業（外海）では、河川流入とホタテガイ漁獲がほぼ等しく、他魚種の漁獲や海水の流入・拡散の影響を鑑みても問題点として取上げるには至らない程度と考えられる。

水産加工業では、収入75千 t に対し製品としての出荷は27千 t 程度である。残りのうち22千 t（貝殻）は堆積され、26千 t（ウロ等）は焼却されて排ガスや焼却灰となり循環していない。

表-5 産業別物質（窒素）収支の現状

	収入	支出	収支	備考
農業	3, 909	1, 334	2, 575	地区に残留
漁業(サロマ湖)	542	311	230	湖底に堆積
漁業(外海)	1, 181	1, 145	36	沿岸域から流出
水産加工業 ^{注)}	1, 266	567	699	地区内で堆積や焼却
	75, 122	26, 768	48, 354	

注) 水産加工業の下端は窒素でなく物質重量（原貝湿重量換算）

(2) 持続的物質循環の形成

上記より、現状のマテリアルフローの問題点は、物質の収入と支出の不均衡であり、地区内での廃棄物化による自然環境への負荷である。この問題解決を図り、地区内での持続的物質循環を形成するためには、地区外からの移入を削減すること、地区内で副産物を資源化し再利用を進めること等が必要である。物質循環の形成にむけた課題と対策を表-6に、対策による物質循環イメージを図-5に示す。

農業分野では、現在焼却処理されているホタテガイのウロ等の飼料化と肥料化を行う。ウロ等は乾重量の70%がタンパク質（同窒素分10%）であり飼料・肥料としての利用可能性が高い。当地区の加工業で排出されるウロ等に含まれる窒素量は約660 t であり、現在農業において地区外から投入される窒素量の約17%を賄うことが可能である。また、酪農畜産で発生する家畜糞尿を適正に堆肥化し、畑作における活用を行う。

漁業分野では、漁場の高度利用を図り、エビやアサリなどの漁獲増大による物質の持出量を拡大する。また、湖内の底泥は窒素分など栄養素に富んでいるので、底泥を外海に撒布することにより湖内の物質収支の調和と同時に外海の生産力の向上が期待できる。さらに、サロマ湖湖口の維持のための整備や人工的動力を用いた導水といった工学的手法により湖水の対流促進を図り、湖内への物質の堆積を抑制する。動力には、風力や太陽光、潮汐力等の自然エネルギーを利用する。

水産加工業で廃棄されている貝殻について、海中撒布や水産基盤整備での利用を実施する。貝殻に含まれるカルシウムの水域から持出量は年間約15,000 t であり、近傍の1級河川湧別川の約1年分に流下量に相当する。このため、貝殻撒布や貝殻魚礁による漁場整備や貝殻による漁港の底質改良を行い、貝殻を水域に還元する。

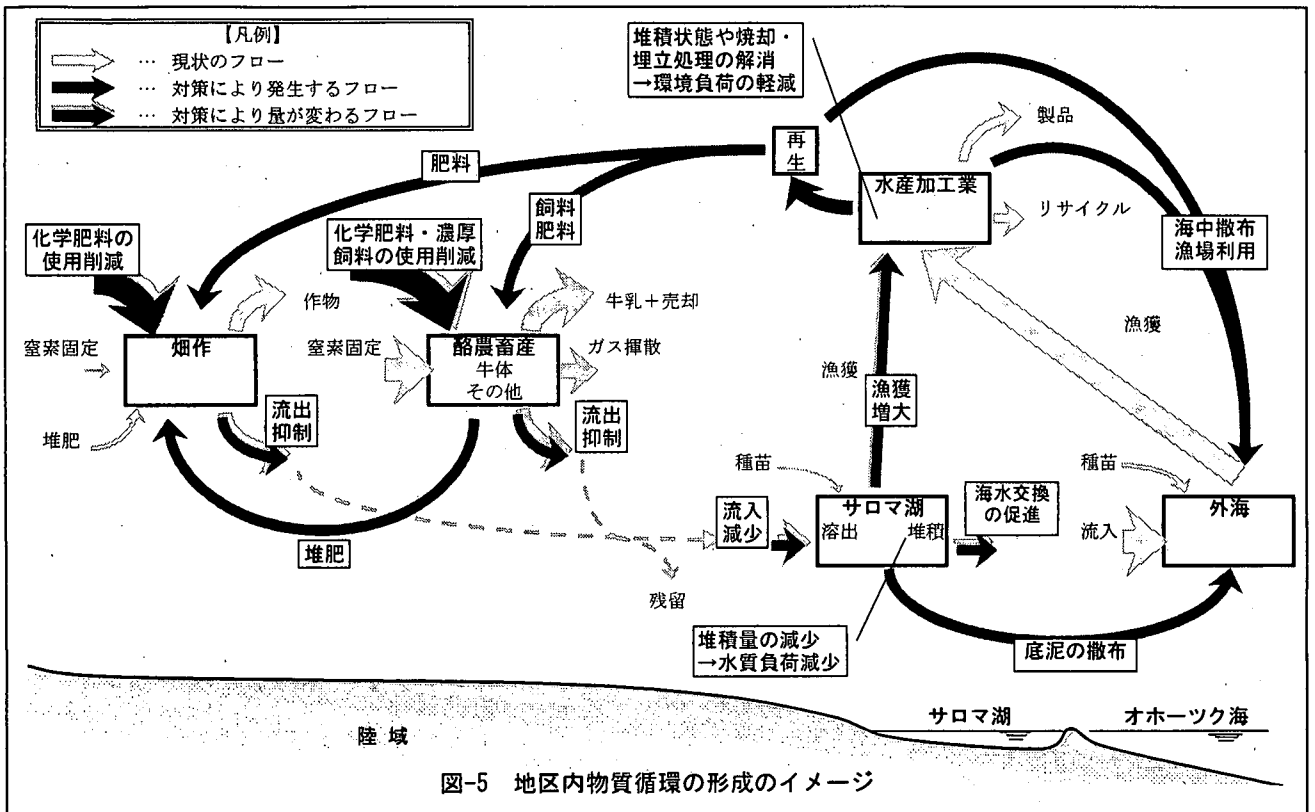


表-6 物質循環形成における課題と方策

課題	方策
<ul style="list-style-type: none"> ・現在多量の物質が投入されている農業分野において、地区内から飼料や肥料を調達すること ・物質が堆積しているサロマ湖から、漁獲や流出により物質を排出すること ・水産加工業で廃棄物化している貝殻とウロ等を資源として有効利用すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・現在焼却処理されているホタテガイのウロ等の飼料化と肥料化 ・酪農畜産で発生する家畜糞尿の適正な堆肥化 ・サロマ湖内での漁業をさらなる高度化によるエビやアサリなどの漁獲増大 ・サロマ湖に堆積している底泥の外海への撒布 ・サロマ湖水の対流促進によるサロマ湖への流下物の滞留・堆積の抑制 ・貝殻等の水産基盤整備での利用や海中還元

一方、法規制が上記の方策推進の阻害要因となっていることも課題として挙げられる。具体的には、実質海面であるサロマ湖に河川法の規制を適用する必要性は乏しく、自然公園であっても適切な環境の再生・改善の取組みは行うべきである。また、海から取上げた物質を海に還元するのは物質循環の観点で自然な流れである。こうした取組みを制限している規制の緩和が望まれる。

(3) 地区循環の費用と効果

前述のとおり、サロマ湖地区の環境社会システムはサロマ湖とホタテ養殖がその核を成していることから、サロマ湖の環境維持を中心に、整備費用とそ

の効果について検討した。

循環形成の方策のうち、特にサロマ湖と関わりの深い対策として、ア) 流入負荷対策、イ) 漁獲の増大、ウ) 海水交換の促進、エ) 底泥の海中撒布が挙げられる。物質収支の改善目標を表-7に示す。改善目標は、サロマ湖における現状の物質収支の分析結果(表-3)を基に、収入と支出が等しくなるべく設定した。

表-7 サロマ湖における物質収支の改善目標

項目	流入	漁獲	海水交換(流出)	堆積(残余)
現状の物質質量	542,564	148,539	162,897	230,128
増減割合(目標)	-5%	15%	100%	-92%
実施時の物質質量	515,436	170,820	325,794	18,822
実施による増減	-27,128	22,281	162,897	-211,306

方策実施のための整備費用を表-8に示す。ア) 流入負荷削減は農業分野で対策を行う。家畜糞尿の適正処理施設の整備と、有機肥料(ウロ等の堆肥)利用による栄養分の土壌滞留期間延長により、水域への流出を抑制する。イ) 漁獲増大では、アサリ等の漁場を造成し資源量・漁獲量の増大を図る。ウ) 海水交換では、外海からの海水導入や堆積物の流出促進のため、海水の流動を促す。これらの対策でも、場合によっては堆積物の発生で完全に無くすることができないことも想定されることから、エ) 定期的な底泥浚渫が必要であろう。浚渫した底泥は陸上・海上において環境に支障を及ぼさない方法で還元する必要がある。これら全体整備費用は概算で376億円と試算される。

表-8 方策に必要な整備費用

方策	整備内容	規模	費用
流入負荷	糞尿等処理	400基	80億円
	ウロ飼料肥料製造		16億円
漁獲増大	漁場造成	14km ²	140億円
海水交換	導流施設	4億m ³	140億円
底泥浚渫	浚渫	2.5万m ³	年間4千万円

注) 整備による効果(目標達成)および整備費用は概算

効果はサロマ湖の環境維持である。現在サロマ湖の水質および底質は悪化の一途をたどっており環境基準を満たせなくなっている。今後対策を講じなければ、サロマ湖を基盤とする当地区の漁業が成り立たなくなる恐れがあることから、現状を放置した際の損失を方策実施の効果とした。現状放置による損失を表-9に示す。特にサロマ湖で稚貝生産ができなくなることにより外海地蒔きホタテ漁業が不可能となるため、年間100億円以上の大きな損失が予想される。以上より、方策の効果は全体で年間130億円規模に相当する。

表-9 物質循環形成の効果(現状放置による損失)

区分	内容	金額
水質底質の悪化による水産生物の生息場消失	サロマ湖で生産される水産物(ホタテガイ、蚌、カレイ類等)の生産額	28億円/年
廃棄物処理対策	サロマ湖で生産される稚貝を基に生産される外海ホタテガイ養殖の生産額	108億円/年
	ウロ等の焼却処理費用	1億円/年
	化石燃料の使用と大気汚染物質(CO ₂ , NO _x 等)の排出	-
	貝殻の堆積量の肥大化	-

5. おわりに

本研究により次のことを明らかにした。

- ① サロマ湖地区における窒素を指標とした産業別の物質収支を試算し、地区全体のマテリアルフロー図(図-4)を作成した。この結果、当地区の物質の流れは循環型ではなく、地域の中で物質が蓄積していることが明らかになった。持続的な循環型とするための主な課題は、ア)農業では収入が支出を上回っていること、イ)このためサロマ湖では流入物質が漁獲等による搬出を上回っていること、ロ)水産加工業では原料の大半が廃棄物化していること、である。
- ② サロマ湖地区において現状で循環していない物質(窒素)の流れを循環型にするための方法として、ホタテガイのウロ等の飼料化・肥料化、家畜糞尿堆肥の畑作での利用、サロマ湖内からの漁獲増大、サロマ湖湖水の対流促進、貝殻の海中撒布、水産基盤整備での利用およびサロマ湖底泥の外海への撒布、という方策を示した(図-5)。これら

の実施により、地区の環境・産業・生活文化の中心的要素であるサロマ湖の環境維持が図られると考える。

本研究では環境保全のための循環型社会の形成に資する一手法として、窒素を指標としたMFAを基にした方策の検討を行った。今後より実効性の高い環境保全計画を策定するにあたっては、各産業間の関係や住民生活に関する項目、外海の海水の動態等を加味した上で、多数の実測値を基礎として物質フローの分析精度を向上させること、並びに窒素以外の物質についての分析を行うことが課題である。

また、環境保全の推進は物質循環の観点だけでなく、自然生態系と人間の活動とのバランス等を多角的に分析し、影響を評価した上で、対策が行われなければならない。今後は、本研究の結果と対策実施にかかる生態系への影響評価とを組み合わせた形での検討が必要と考える。

謝辞：本研究の実施にあたり、関係機関の調整ならびにデータ提供を頂いたサロマ湖養殖漁協の加藤重信常務および前川公彦部長ならびに農業分野のデータ提供を頂いた北海道立中央農業試験場の松本武彦研究員をここに記載し謝意を表す。

参考文献

- 1) 児玉いずみほか：北海道サロマ湖地区における環境社会システムの構造分析について、環境システム研究 vol. 28, 土木学会, pp383-389, 2000
- 2) 古屋温美ほか：環境社会システムにおける問題の構造分析と対策の評価に関する研究(サロマ湖を事例に)、海岸工学論文集第49巻, pp. 1411-1415, 2002
- 3) 松本武彦：地下水の硝酸汚染を防止するための窒素管理方策-北海道農地の窒素環境容量Ver. 2-, 平成14年度北海道農業試験会議資料, 2003
- 4) 北海道農林水産統計年報, 農林水産省北海道統計情報事務所, 2000
- 5) 化学肥料等使用実態調査報告書, 北海道農政部, 1994
- 6) 西宗昭ほか：十勝地方の主要畑作土壌に栽培されたマメ類の窒素固定量と子実収量, 北農試研報137, pp. 81-106, 1983
- 7) 北海道緑肥作物等栽培利用指針, 北海道農政部, 1994
- 8) 水質環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル, 農林水産省農業環境技術研究所, 1999
- 9) 五訂食品標準成分表, 科学技術庁資源調査会, 2000
- 10) 甲田裕幸：酪農経営における窒素フロー-根釧農試における事例-, 平成10年度北海道農業試験会議資料, 1999
- 11) 畜産大辞典, 内藤元男監修, 養賢堂, pp. 371, 1978
- 12) 雨量・推移・流量年報, 社団法人北海道土木協会, 1995-1999
- 13) 公共用水の水質測定結果, 北海道, 1995-2000
- 14) 道産食品の栄養成分表, 北海道栄養士会, 2002
- 15) 流量年表, 社団法人日本河川協会, 1995-2000