

平成23～25年度

南湖生態系の順応的管理方法に関する研究の成果報告書

南湖生態系の順応的管理に関する サイエンスレポート

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

巻頭言

当研究センターでは、この度「南湖生態系の順応的管理に関するサイエンスレポート」を発行いたします。

琵琶湖の生態系といった複雑な対象の“管理”施策を策定し、それを実施していくためには、科学的知見の政策決定者向けの要約とそれに基づいた対策オプションの提示が必要だと思われます。南湖という複雑な対象は、その現象自体に未知の要素が多く、その管理目標の設定から、多様な政策手段の選択まで多くの難しい検討課題が含まれています。そこで、このような作業にどうしても必要となる科学的知見を広く集め、行政施策に役立てることを目指したのが本報告書です。

この本書の趣旨からも、センターがその最新研究結果を世に出すという報告書というより、行政の政策形成に直接役立つことを目的としたものですから、当センター独自のデータと知見に加えて、内外の関連情報も広く取り入れて、マニュアル的な形に作り上げました。しかし同時に、琵琶湖の生態系保全活動に関わっている市民の方々や、関連する内外の研究者にも体系的な情報として役立てていただくことをも期待しています。

なお、この研究は南湖生態系の管理という課題の重要性から、特に県の研究予算を受けたものではありますが、この成果物を見直してみて、複雑でまだ未解明の事象が余りに多い南湖の生態系を、十全に管理する方策を示すというのがいかに難しい課題であるかに改めて気付きました。したがって、今回まとめました本報告書では、事象をまだまだ一面でしか捉えきれておらず、さらに今後、多面的な調査・検討が必要であることを痛感しております。

したがって、今後の改良・改善を鋭意進めていきたいと考えておりますので、各方面から多くのご批判ご指摘をいただくことを期待しております。

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター長
内藤 正明

南湖生態系の順応的管理ガイドライン サイエンスレポート

目次

巻頭言	.....	i
目次	.....	ii
1章 はじめに		
1-1 本報告書の意義と課題		
内藤正明	.....	2
1-2 「南湖」とは何か？		
井上栄壮、東善広	.....	6
1-3 南湖の課題とは？		
井上栄壮	.....	12
1-4 順応的管理(adaptive management)とは何か		
宮永健太郎	.....	16
2章 生態系への湖岸地形改変等による影響		
2-1 湖岸域の変化		
東善広、辰己勝、西野麻知子	.....	22
2-2 在来植生・希少植物に対する人為的圧力		
金子有子、佐々木寧、東善広	.....	26
2-3 南湖集水域における環境と流入負荷量の長期変化		
大久保卓也、東善広	.....	28
3章 水草をめぐる南湖生態系の現況と課題		
3-1 水草(沈水植物)の湖沼生態系での役割と水草の管理について		
永田貴丸	.....	38
3-2 水草に対する県民意識		
井上栄壮	.....	42
3-3 流れ藻の漂着とその要因		
井上栄壮、永田貴丸、西野麻知子	.....	45
3-4 南湖の水草の変遷と環境要因		
石川可奈子、芳賀裕樹、永田貴丸、井上栄壮	.....	47
3-5 水草除去の比較対照実験		
永田貴丸、井上栄壮、石川可奈子、西野麻知子	.....	51
3-6 水草の大量繁茂による水の停滞と湖底の貧酸素水塊、そして水草除去による回復		
石川可奈子、芳賀裕樹	.....	56
3-7 底生生物相と水草の関係		
井上栄壮、永田貴丸、西野麻知子	.....	64
3-8 南湖における固有沈水植物ネジレモの遺伝的多様性		
金子有子、中川昌人、西野麻知子	.....	67

4章	水質問題とプランクトンの変化が及ぼす生態系への影響	
4-1	琵琶湖南湖における水質の長期トレンドと主な現象について(1979~2012年度) 五十嵐恵子、廣瀬佳則、古角恵美、七里将一、桐山徳也、岡本高弘、田中稔、山中直	72
4-2	瀬田川流心における植物プランクトンと放流量の関係解析 一瀬諭・藤原直樹・廣瀬佳則・古田世子・山中直	78
4-3	沈水植物の除去によるアオコ発生抑制効果調査 廣瀬佳則・七里将一・藤原直樹・一瀬諭・古田世子・田中稔・山中直	89
5章	水位操作と生態系の関係について	
5-1	琵琶湖の魚類と水位調整に関わる最新研究からの保全政策提言レビュー 水野敏明	96
5-2	ホンモロコへの琵琶湖の水位調整による影響と回復への保全目標 水野敏明、藤岡康弘、亀甲武志、佐藤祐一、大久保卓也	98
6章	生物多様性保全の課題について	
6-1	南湖におけるヨシ群落の遺伝的多様性について 金子有子	102
6-2	生物多様性の現状(動物) 井上栄壮	105
7章	外来生物の防除について	
7-1	琵琶湖における侵略的外来水生植物3種の分布状況の推移 金子有子	110
7-2	外来底生動物の問題点 井上栄壮	113
7-3	在来魚の保全対策における河口浅場の重要性 水野敏明、大久保卓也	116
8章	生物多様性保全の制度的手法について	
8-1	滋賀と琵琶湖の生物多様性問題とそのガバナンス 宮永健太郎	120
9章	南湖の望ましい姿と評価指標 井上栄壮	126

1章 はじめに

1-1 本報告書の意義と課題

内藤正明

この報告書は、通常の研究成果報告書とは違って、行政の南湖生態系の管理施策を作るためのサイエンスベースを提供するという、特別の目的をもったものであることを巻頭で述べた。ここで、研究所が担当する科学的知見の提供とそれを受けた行政の政策策定作業との適正な連携のあり方に関して、若干の考察を加えておきたい。実は、この課題は、研究機関と行政機関の適切な関係はどうあるべきかという古くからの課題である。

当センターでは「政策課題研究」という研究カテゴリーを設けているが、この意味するところは、研究課題の設定が行政や県民が抱える現場のニーズに即してなされることである。しかしその研究計画は、行政や他の研究機関などとの議論を繰り返しながらもセンターが主体として作るのである。研究者の学問的興味(academic interest)こそが研究動機であるべきとされてきた我が国の研究の歴史からは、まだこのような目的指向の研究のあり方は違和感がある。この両者の適正なバランスをどのように取っていくかは今後も継続的な検討が必要であろう。

行政施策における研究の役割

近年“社会に役立つ研究”への転換が頻りに言われるようになってきた。大学に対しても、昨年度から文科省はCOC(center of community)なる特別予算枠を用意して、地域に役立つ教育・研究へのシフトを促している。当センターは県の付置研究機関であるから、第一義的に県行政に役立つ研究をするのがその使命である。昨年度には「地域に役立つ研究を実施した」ことをもって、総務大臣表彰を得た。ただし、その“社会や県行政に役立つ”ということの定義は必ずしも簡単ではない。

行政が施策を決定する場合、大きく2段階の判断基準がある。第一は「科学的真実」であり、第二は「社会的妥当性(正義)」である。研究機関の役割はあくまで「科学的真実」を提供することであって、政策的な合理性や効率性の判断は行政の、そして社会的な利害に関わるような価値判断は主に政治の役目である。

ここまでは明快に言い切ったとして、実はこれにはかなり難しい課題が含まれる。一つは、琵琶湖の生態系といった複雑な対象については「科学的真実」といっても、その解明はまだ部分的にしかなされていない。ここに科学的知見の限界があり、その不確実性を現場の行政や県民に的確に伝えるという作業が伴っている。もし、不確実性を避けようとして、確からしいデータや知見だけを提供しても、行政の判断材料としては必ずしも実用的ではない。そこで、研究者としての長年の経験に立った推定・推論をさらに提供することも求められて、この場合の不確実性に対する責任を負う覚悟も必要となる。

社会的な価値判断

科学的情報(「真」)に立って政策立案するとして、その政策的な妥当性を判断する根拠は社会的な価値判断、つまり社会的妥当性である。そこは研究者としては踏み込むべきではない領域である。たとえば「琵琶湖の目標像」は社会の価値判断が具現化されたものであるから、社会の合意形成に任されるべきものであり、研究機関としての当センターが独自に提案できるものではない。もちろんその議論の過程に研究者としての役割はあり、また一県民としての立場での発言はありうるが…。

しかしながら、仮のものであれ目標像がなければ対策の妥当性を判断する根拠が無いので、それ以降の南湖生態系管理に対して具体的な対策、政策に資するデータや論理なども提供できないことになる。そこで、本報「**章」に掲げた「南湖の望ましい姿」は、行政計画である「マザーレイク計画」の中に設定されている“琵琶湖の将来目標像”を採用している。ただし、これは研究が目指す目標としては、大まかでしかも仮のものである。

政策判断に対する研究の貢献

社会的な判断に関しても研究的な貢献が出来る場面がいくつかある。一つは、社会的合意形成手法に関するものである。近年、難解な専門知識が求められる課題(例えば、原子力、遺伝子組み換えなど)に対する市民

の合意形成の新しい手法が研究されてきた。イギリスで始まった「deliberation（熟議）」や、それを日本に導入した「討論型世論調査」などが、有効な手法として認められつつある。滋賀県でも一昨年あたりから、「対話型世論調査」というのを実施している。これは、県政世論調査回答者から希望を募り、アンケートの結果を対話により深め、その意見の変化を見るというものである。南湖生態系管理という複雑かつ科学と社会の価値判断が不可分な対象に、このような対話型世論調査といった新たな手法を導入することは、研究者のテーマとなる。なお、これがここでいう“順応的管理”において、どのような意味を持つかはこれからの議論になる。この準備のためにも、本プロジェクトのキーワードである「順応的管理」の意味について考察が必要と思われるので、以下に若干のコメントを加える。

もう一つは、行政が政策判断するに当たって根拠とする「社会の価値観」に対する研究側からの提言である。そもそも社会的価値判断の根拠は、「地域の伝統的なルール」とその時代における「人類に普遍的な価値規範」を総合したものでなっているとされるが、前者は地域住民が主体となって決めるべきとして、後者に関しては、現代文明の規範については専門家としての提言が必要な部分である。たとえば、生態系に関しては bio-ethics（生態・生命倫理論）、egoistic gene（利己的遺伝子論）などの最近の科学的知見から導かれる倫理規範を、南湖の価値評価の基準として導入する可能性を模索するのは研究者の役割であろう。

「順応的管理」とは

最近、生態系保全、管理を論ずるときに、“順応的”という用語がしばしば用いられるが、それはこれまでの管理と本質的にどう違うのか。その解釈の一助に、「システム制御論」との類推からこのことを考察してみよう。

制御理論で最も基本的な制御方式は「フィードバック制御」である。例えばエアコン温度を一定にする「定置制御」などは身近に多くみられる。外乱によって設定値から温度が外れた場合に、元に戻すような制御である。この目標値からのズレをどう捉えて制御するかで、「比例」、「微分」制御など様々な方式がある。さらに制御対象の特性に応じて「フィードフォワード制御」、「予測（predictive）制御」などの手法が提案され、さらに進んで一層複雑で不確定な要素を含む対象に「適応（adaptive）制御」という概念が提案された。「順応」と「適応」は共に“adapt”の日本語訳で、それが分野によって異なったものである。共通するのは対象が複雑でその特性が不確定要素をたくさん含むことである。

したがって、システムも目標も定まっている「確定的（deterministic）制御」とは異なり、「確率的（stochastic）、適応的（adaptive）」な管理にならざるを得ない。なお、制御と管理は対象の特性によって、機械など動作が特定できやすいものは「制御」、環境などの挙動のみならず対象自体が把握しがたいものには「管理」という表現が適切だろうが、さらに管理という広い概念の中で、特定の操作・運転方式を指すものとして制御という言い方もありえよう。

南湖生態系の順応的管理という、ここでの対象システムの特徴を列挙すると、

- ①目標設定が不確定で、最終的にどこを目指すのかが不明確である。
- ②制御対象の挙動が十分把握されていない。
- ③制御、管理操作そのものがシステムの挙動、特性を変える。

といったことがある。したがって、システムも目標も定まっている「確定的（deterministic）制御」とは異なり、「確率的（stochastic）、適応的（adaptive）」な制御に依らざるを得ない。

このような対象を具体的場面に譬えると、“霧で視界の効かない中で八ヶ岳の頂きを目指す登山グループ”という状況に近いのではないか。まず①目標は、目指す頂上がいくつもあって、登山メンバー内で目標の合意ができていない。②山の状態については、濃霧で僅かに数百メートル四方しか見えない。③については、登山者自身の影響で雪崩や山崩れ、吊り橋の崩壊などを引き起こす可能性もある。このような不確定要素が多い状況下で、どのようなコースを選択するのが適

切か。

適応制御の手順は、まず視界の届く範囲を広く探索して、その中での最適進路を見定めてワンステップを踏み出す。次のワンステップを同様に再探索してまた一步進むということを繰り返していかざるを得ない。その都度、最新の情報を加味しながら、その時点での適正方向に進んでいくのが適応制御の要点である。こうする間に、山の特性に関するデータが蓄積されてシステムモデルが精緻になっていく。また、グループの中での合意形成が進んで目指す山頂も絞られ、選択がより効率的になっていく。

このようにして登ってきた道筋 (trajectory) は、その時点毎の最適なステップ (変分: $\Delta J / \Delta X \rightarrow \text{optimal}$, J : 目的関数、 X : 制御操作) の部分最適を、変分原理による「停留点 (鞍点) 探査」することで見出しこれを繋いできたものである。これは、天候が快復して後に頂上から俯瞰してみると、結果として全体最適のルートとはかなり異なる可能性が高い。しかし、多くに困難な制約下での次善の選択として止むを得ないものである。

この制御方法の特徴を簡単な模式図に描いてみたものが図1である。

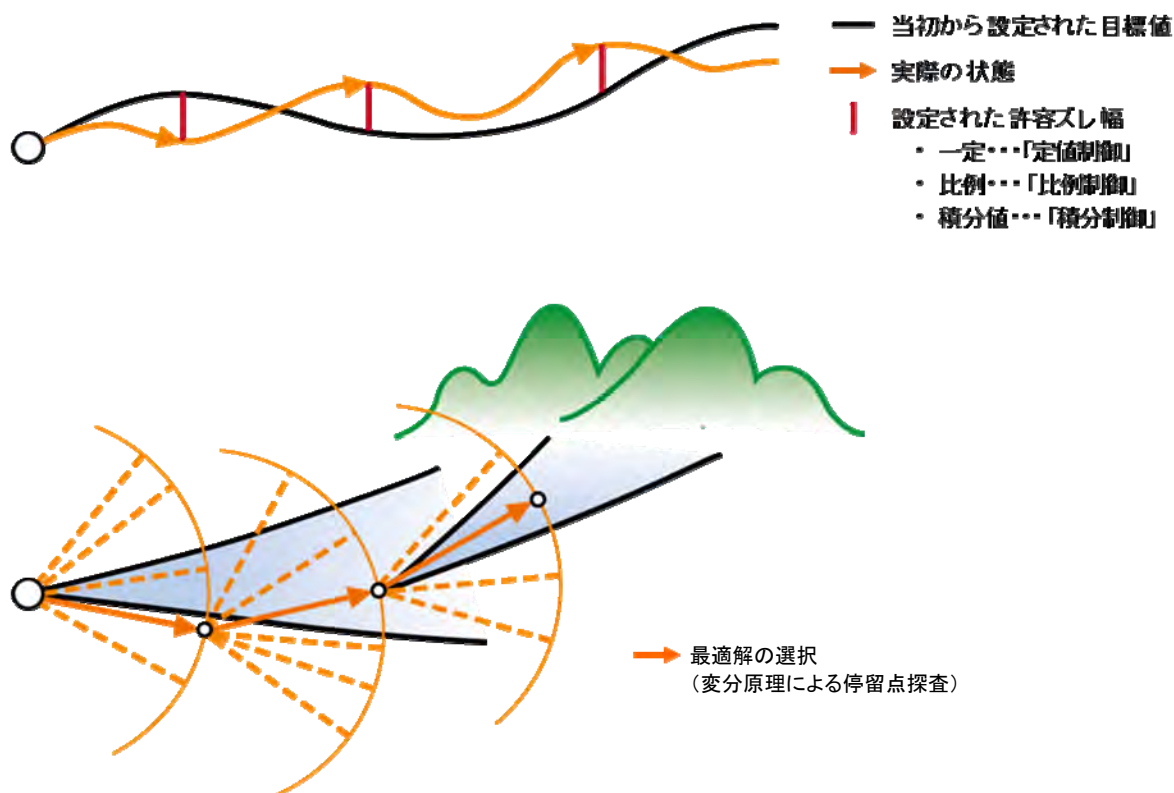


図1

この制御方法に対して、類似するPDCAとの比較を、念のために一言付言する。PDCAというのは、内容的には社会システムのような大きく捉えにくい対象を管理・運営する一連の手順を称したもので、制御方式でいえばフィードバック的な制御のことであるが、特定の制御方式を示すものではない。

なお、「未確定な生態系の目標像」、「未解明な南湖生態系のメカニズム」といったここでの対象については、“目標設定に関する社会の合意形成”と“生態系に対する研究成果の導入”は順応的管理を進めるための重要なプロセスであるので、このことを改めて1-4節に論じている。

1-2 「南湖」とは何か？

井上栄壮・東善広

Abstract:

琵琶湖の副湖盆である南湖は比較的小さく浅い水域であり、環境変動や人間活動の影響を受けやすい。地質的には、古野洲川等による多量の土砂供給により浅い砂質帯が形成され、湖辺域のヨシ帯形成、内湖や水田との水路（クリーク）によるつながり等と相まって、南湖独特の生態系が形成されたと考えられる。現在の南湖は、湖岸の人工化、底質の泥質化、瀬田川洗堰による水位操作、湖辺域における在来希少植物の減少と侵略的外来植物の分布拡大、1994年の水位低下以降に顕在化した沈水植物(水草)の大量繁茂、1960年代以降のセタシジミ等の二枚貝類の減少等、かつての姿から大きく変化した。南湖は、大津市、草津市、守山市の前面にあり、上水、漁業、遊漁、観光等の多様で高度な水利用が行われている水域である。そのため、各種水利用面で支障が生じないように水質や水草等を適切に管理することが行政に求められている。

1. はじめに

琵琶湖は、琵琶湖大橋を境に、広く深い主湖盆（北湖）と、狭く浅い副湖盆（南湖）に分けられる（図1）。南湖の水面面積は52.50km²で琵琶湖全体（670.25km²）の約1/13、平均水深は約4mと浅く、貯水量は2億m³で琵琶湖全体（275億m³）の1%にも満たない、比較的小さな水域である。そのため、環境変動の影響を受けやすく、近年の沈水植物の急激な増加はその一例といえる（金子ら、2011）。また、周囲を大津市、草津市、守山市に囲まれることから、琵琶湖において人間活動の影響を特に受けやすい水域ともいえる。

2. 南湖の地理的特徴

琵琶湖流域は、湖を中心として沖積平野、丘陵地および山地が順序よく同心円的に広がった「近江盆地」と呼ばれる盆地地形を形成している（図1, 2）。沖積平野は、概して言えば、西岸よりも東岸側に大きく広がるが、とりわけ琵琶湖南湖周辺は、湖の面積に対する東岸側の低地の面積が大きい地域である。

南湖東岸域の沖積平野は、主に野洲川および草津川の堆積作用によって形成されたものである。現在の野洲川は北湖に注いでいるが、旧河道分布（図3）および現在は湖中にある沈水デルタ地形の存在などの証拠から、縄文時代前期から中期における「古野洲川」は、烏丸崎（烏丸半島）沖から志那沖に向けて流入していたと考えられている（辰己、2008）。大河川である野洲川が現在の南湖東岸に流入し、土砂の運搬・堆積が極めて盛んであったことが、浅い湖の形成に寄与したと考えられる。また、このことは、かつての南湖は、砂質の湖底が少なくなかったことにも寄与していたと考えられ、とりわけ古野洲川が流入していた烏丸

崎沖から志那沖にかけては、利用価値の高い良質な砂礫が存在していたため砂利採取が行われてきた。

多量の土砂の運搬・堆積を繰り返してきた南湖東岸域は、極めて低地であるため、ある場所は内湖となり、またある場所は、水位が上昇すると水没し、水位が低下すると干出する氾濫原を形成し、湿生植物に適した環境であったと考えられる。とりわけ比較的砂質の土壌を好むヨシの生育に適した環境だったと言える（立花、1999）。現在する南湖の顕著なヨシ帯は、西岸の

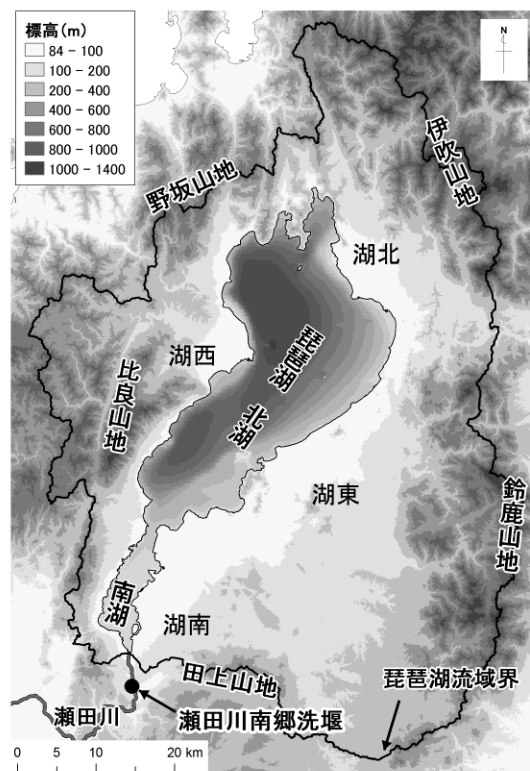


図1 琵琶湖周辺の地形

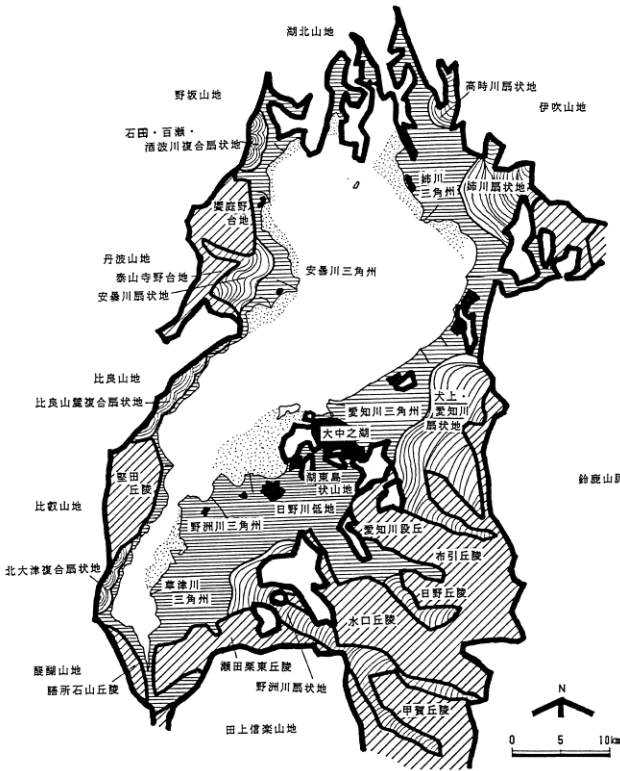


図2 琵琶湖周辺の地形模式図
北澤ほか(1990)より転載



図4 1940年代末の抽水植物帯と1890年代末の浅水域の推定分布
金子ら(2011)より転載

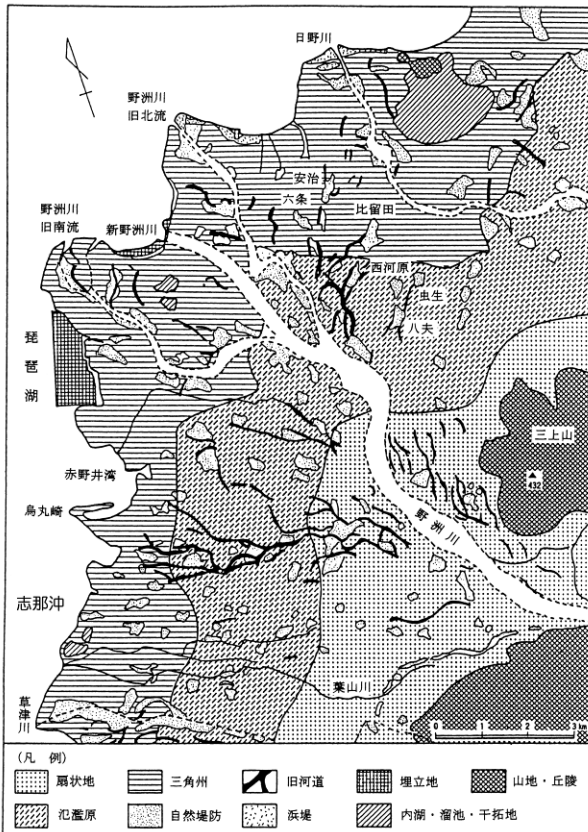


図3 野洲川下流平野における地形分類図
辰己(1993)より転載

雄琴周辺が代表的であるが、1940年代の航空写真から判読したヨシなどから構成される抽水植物帯は、東岸一帯が顕著であったことを示している(図4)。

このように、浅い水域の形成、砂質湖底の維持、東岸域のヨシ帯の形成は、野洲川などによる多量の土砂供給と堆積の作用に深く関係していたと考えられる。

また、こういった広大な低地が広がる東岸域では、古くから水田が開墾されてきた。低湿地帯であるため、水田などへの移動には水路(クリーク)が利用され、東岸域の古い地図を見ると、集落、水田、内湖が網の目のようなクリークで結ばれたような形状を示している(図5)。長い歴史の中で築造されたクリークは、南湖、内湖、水田の物理的なつながりに影響を与え、さらにそのことが独特の生態系の形成に影響を与えていたと考えられる。

3. 南湖の湖岸地形の変遷

南湖の湖岸線は、琵琶湖全体の約1/4を占める。琵琶湖総合開発による湖岸堤の増築などにより、現在、南湖岸の73%が人工湖岸である(金子ら, 2011)。特に東岸では、少なくとも1940年代末まではヨシ等の抽水植物帯が卓越していたが、烏丸半島の整備、守

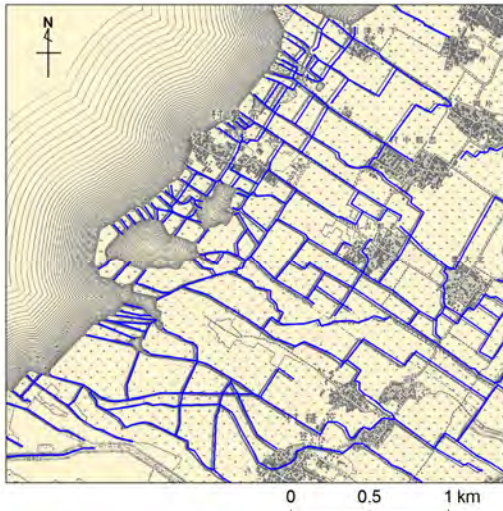


図5 南湖東岸地域の1890年代末の地図（正式2万の1地形図）および水路分布の例

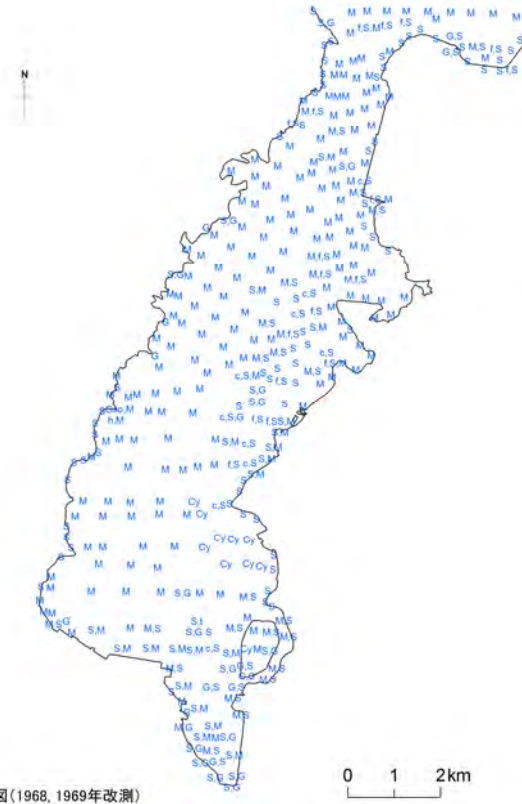


図6 湖沼図(国土地理院, 1968、1969年改測)から判読した底質の分布. M: 泥; S: 砂; G: 礫; Cy: 粘土; c: 粗い; f: 細かい

山市木浜や矢橋帰帆島などの大規模な埋め立て、湖岸堤と前浜の建設等の湖岸整備により、地形そのものが大きく改変された。単純な湖岸線となり、コンクリートや石積みの護岸により、湖岸形態・構造も一様に改

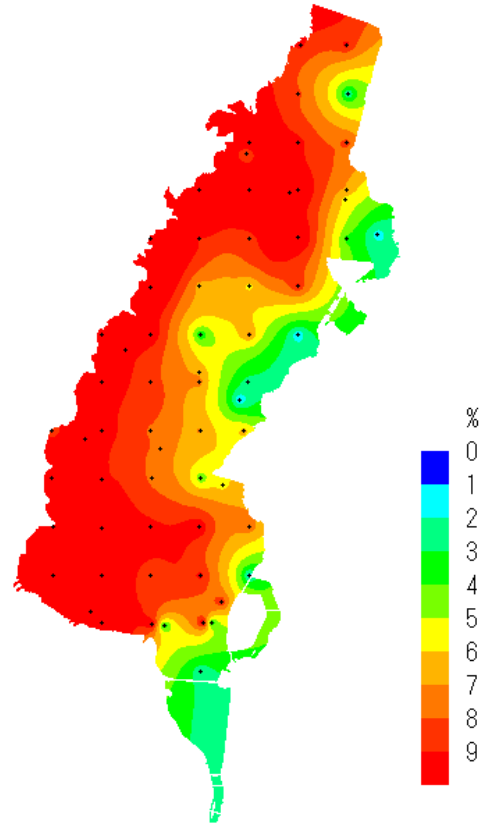


図7 南湖における2012年の底質(表層1cm)の強熱減量の分布(井上ら, 2014)。

変された(金子ら, 2011)。一方、西岸は、民有地の宅地、工場敷地等が立地する地域が比較的多く、これらの地域で古くから人工湖岸化が進んでいたが、大きな湖岸地形の変化は比較的少ない。また、西岸南部では、大津市街地の湖岸が1958年～1968年に埋め立てられ、1990年以降に大津港から瀬田川西岸までが遊歩道のある公園として整備された(金子ら, 2011)。

4. 南湖の底質

1960年代の湖沼図(国土地理院, 1968, 1969)から底質の分布をみると、泥質帯の分布範囲が大きい、特に東岸から南岸沿いの浅い地域に、砂質帯や砂礫帯が広く分布する(図6)。前述のとおり、滋賀県最大の流域面積を擁する野洲川(古野洲川)に加えて、天井川として代表的な草津川(旧草津川)等の河川からも供給された多量の土砂が南湖東岸沿いに堆積し、砂質帯や砂礫帯が形成されたと考えられる。また、西岸においても、河川流入部付近を中心とした湖辺域に砂質帯や砂礫帯が分布する。

この状況は、底質中の有機物量の指標となる強熱減量の分布ともおおむね一致し、砂質帯や砂礫帯の広がる東岸付近で低い(図7)。南湖18定点における強

熱減量は、1987～1988年(表層0～5cm)には平均8.3%であったが、2001年(表層0～1.5cm)には平均9.6%であった(滋賀県立衛生環境センター, 1990, 2002)。また、1987～1988年に強熱減量の鉛直分布を測定した南湖の3定点では表層0～2cmで平均8.5%、2001年の同3定点では平均9.1%であった。2010年の別の9地点における測定(表層0～2cm)では平均8.9%(井上・西野, 2011)であり、地点により差があるものの、主に1990年代に底質中の有機物が増加したことが示唆される。その主な原因として、1994年以降の沈水植物(水草)の分布拡大にともない、水草由来の腐植質が底質中に堆積したことが考えられる。

湖辺域の底質の動向については、湖岸55定点(うち南湖12定点)において1965年、1995年、2002～2003年に同様の方法によるモニタリング調査が実施されている(滋賀県水産試験場, 1972, 1998, 2005)。南湖においては粒径0.5mm未満が大半であるが、2003年は粒径0.5mm未満は増加傾向、4.0mm以上は減少傾向を示し、水深0～1mの粒径4.0mm以上の減少が著しいことが報告され(滋賀県水産試験場, 2005)、流域からの土砂供給量の減少と、特に湖辺域の砂質帯・砂礫帯であった場所の泥質化が示唆される。

5. 琵琶湖の水位操作

琵琶湖に流入する河川は一級河川だけでも118本あるが、琵琶湖から流出する河川は瀬田川1本だけである(滋賀県, 2012)。当初の瀬田川は川幅が狭く、また、琵琶湖および大戸川からの流入土砂の堆積により、疎通能力が低かった(e.g. Nakamura et al., 2012)。このため、大雨により琵琶湖の水位が上昇すると、低下するまで長期間を要し、古くから湖辺域では浸水被害を受けてきた(e.g. 滋賀県, 2012)。瀬田川の浚渫によって疎通能力を上げれば、下流の淀川が洪水になりやすく、また少雨の際は水不足になりやすい等、治水・利水の矛盾、上流・下流の住民間の対立を生じさせた(e.g. Nakamura et al., 2012)。

この問題を解消するため、1905年に南郷洗堰が建設され、初めて放流量の調整による琵琶湖水位の操作が可能になった。1961年には瀬田川洗堰が建設され、電動によるゲート操作が可能になった。また、湖岸堤の整備、瀬田川の改修・浚渫等も進み、流域の浸水被害は大幅に減少した。1992年には瀬田川洗堰操作規則が制定され、現在は常時満水位 B.S.L. +0.3m、洪水期間における制限水位 B.S.L. -0.2m(6月16日～8月31日)、-0.3m(9月1日～10月15日)を基準とした水位操作が実施されている。

一方、琵琶湖の水位操作によって季節的な自然の水位変動のパターンが変化し、湖辺域の魚類の産卵・生育環境、水草の大量繁茂、波浪による湖岸浸食等に影響を及ぼしている(e.g. 滋賀県, 2012)。かつての治水、利水を主な目的とした水位操作から、現在は生態系にも配慮したバランスの取れた水位操作が求められており、そのあり方を検討するための試行操作等の取り組みが進められている(e.g. 国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所, 2013)。

6. 南湖岸の植物

南湖岸では、自然湖岸が26%しか残っておらず、湖岸植生面積の44%が公園や植栽林等の人工緑地となっている(金子ら, 2011)。在来の湿生植物群落は、ヨシ植栽地を含めても37%である。その中に氾濫原性の希少植物の8割が生育しており、人工緑地内にはほとんど生育していない。

さらに、湖岸植生面積の15%が侵略的な外来植物群落で占められている。2007年に初めて拡大繁茂が確認された環境省特定外来生物指定種ミズヒマワリについては、根絶に向けた確実な駆除が進んでいる。2007年以降、急速に分布拡大している同指定種ナガエツルノゲイトウについても駆除事業が本格化している。2009年に初めて確認され、現在急速に分布拡大中のオオバナミズキンバイについては、2014年度から本格的な駆除が進められている。また、湾部、河口部、水路等を中心に、外来浮葉植物種群(オオアカウキクサ類、チクゴスズメノヒエ、ホテイアオイ、ハス等)が分布を拡大している。(金子ら, 2011)。

7. 南湖の沈水植物(水草)

1930～1950年代の南湖には、ネジレモ、コウガイモ、イバラモなど、背丈の高くならない水草が多く、ほぼ中央部まで繁茂していた(山口, 1938)。その後、富栄養化が進行した1960年代に南湖中央部を中心に激減し、1990年代前半まで低水準であった。この間、外来種として1961年にコカナダモが(生嶋・蒲谷, 1965)、1969年にオオカナダモが琵琶湖で初めて確認され、1970年代半ばにはオオカナダモが増加(谷水・三浦, 1976)、1990年代前半にはコカナダモが増加した(Hamabata, 1997)。

1994年の渇水以降、水草繁茂は増加に転じ、2000年頃に30km²となり、1930～1950年代の水準を超えた(水草繁茂に係る要因分析等検討会, 2009)。2000年以降はさらに増加し、現在、南湖のほぼすべてを覆っている(図8)。1995年以降、オオカナダモが再び

増加し、同時に、在来種のセンニンモ、クロモ、マツモ、ホザキノフサモ等も増加した。1930年代との比較では、長い茎をもつ背丈の高い種の増加が目立つ（芳賀，2008）。近年、増えすぎた水草は船舶の航行障害、漁業障害、景観悪化、漂着流れ藻の腐敗による悪臭発生等の障害の原因となっており（水草繁茂に係る要因分析等検討会，2009）、水草対策事業が実施されている（滋賀県，2011）。

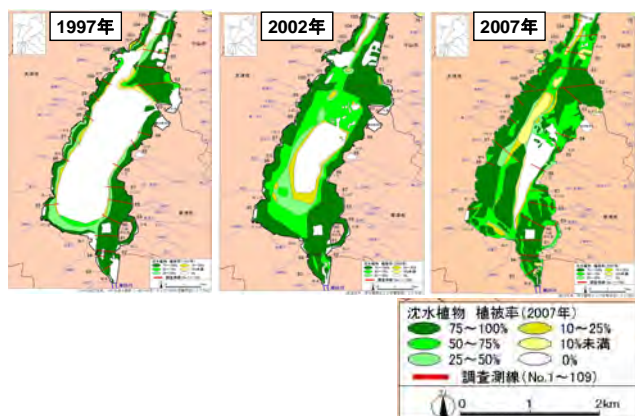


図8 南湖における沈水植物(水草)の植比率
左:1997年;中央:2002年;右:2007年(独立行政法人水資源機構琵琶湖開発総合管理所, 2013)

8. 南湖の底生動物、特に貝類について

かつて、南湖は固有種セタシジミの主要な漁場であり、琵琶湖全体のセタシジミの6~8割が南湖に生息していた（林ら，1966）。セタシジミは砂質帯や砂泥帯でよく成長し（永松，1979）、南湖東岸の砂質帯や砂泥質帯が特に広い漁場であったが、近年まで砂利採取が実施されていた水域と重複する。また、南岸の瀬田川流出部付近にも高密度で生息した（堀・橋本，1960）。その他にも、南湖には1950年代頃まで固有種タテボシガイ等の二枚貝類が高密度で生息していた（Miyadi, 1932；山口ら，1943）。シジミ類の漁獲量は、琵琶湖全体で1957年のピーク時には動力船の普及効果もあり6,072tに達したが、その後、減少に歯止めがかからず、現在は20t代まで落ち込んでいる（図9）。1960年代頃からの除草剤等の影響や富栄養化による有機・無機の水質悪化、それに伴う底質中の栄養塩の蓄積、泥質化、1990年代後半からの水草繁茂拡大の影響等、複合的な要因によって二枚貝類が減少したと考えられている（水草繁茂に係る要因分析等検討会，2009；滋賀県，2012）。

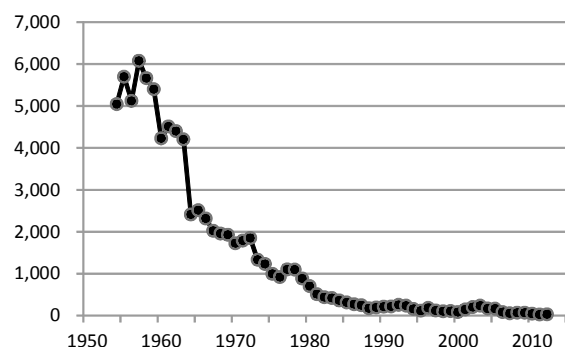


図9 琵琶湖のセタシジミ漁獲量の変遷
(農林水産省近畿農政局滋賀農政事務所, 1954~2009; 農林水産省, 2010~2013より作図)

9. 南湖の特徴

ここまで南湖の地形や動植物等について述べてきたが、北湖の湖水は南湖に流入し、栄養塩、プランクトン、土砂の一部を供給する。また、固有種も含め、北湖にすむ動植物の一部が南湖にも生息し、また、北湖と南湖の両方を利用する魚類は少なくない。すなわち、北湖と南湖は別々に存在するのではなく、それらの水系としてのつながりが琵琶湖の多様な環境構造を構成していると考えられる（金子ら，2011）。

したがって、琵琶湖から南湖だけを切り取って、その生態系について論じることは、科学的には不適切な側面があるかもしれない。しかし、南湖は、大津市、草津市、守山市の前面にあり上水、漁業、観光等の多様で高度な水利用が行われている水域であるため、水質悪化や水草繁茂など何か問題が発生した際には、その対策が即座に求められるという特質を持つ。つまり、行政的な視点では大変重要な水域であり、常に注意して見ておく必要がある水域である。

水質、プランクトン、魚類については後述（サイエンスレポート4-1, 4-2, 7-3）するが、現在の南湖の特徴を大きくまとめると次のとおりである。

- ・水深が浅く、植物プランクトンや水草が発生しやすい。近年は、水草の大量繁茂が問題となっている。
- ・周辺が都市化しており、人工的な湖岸が多いほか、人間活動の影響を受けやすい。
- ・オオクチバス、ブルーギル等の外来魚が多く、在来魚が少ない。
- ・オオバナミズキンバイ等の侵略的外来植物が侵入し、分布域が拡大している。
- ・野洲川、草津川等の河川から供給される土砂によって湖辺域の砂質帯が形成されたが、近年は底質の泥質化が進行している。

・二枚貝の生息数が減少している。その要因として、底質の泥質化や水草の大量繁殖等が関連していると言われている。

引用文献

- 独立行政法人水資源機構琵琶湖開発総合管理所 (2013) 沈水植物の琵琶湖全域調査結果 <http://www.water.go.jp/kansai/biwako/html/report/report_03_2.html#a>
- 芳賀裕樹 (2008) 琵琶湖南湖で見られる沈水植物の増加について. 日本水産学会誌, 75, 892~894.
- Hamabata, E. (1997) Distribution, stand structure and yearly biomass fluctuation of *Elodea nuttallii*, an alien species in Lake Biwa. Studies of submerged macrophyte communities in Lake Biwa (3). Japanese Journal of Limnology, 58, 173~190.
- 林一正・森主一・東玲・川那部浩哉・近畿地方建設局 (1966) 貝類班中間報告. びわ湖生物資源調査団中間報告, 607~707.
- 堀太郎・橋本剛 (1960) セタシジミの生息に及ぼす底質の影響について (第2報). 滋賀大学紀要, 10, 33~40.
- 生嶋功・蒲谷肇 (1965) 琵琶湖に野生化したコカナダモ. 植物研究雑誌, 40, 57~64.
- 井上栄壮・西野麻知子 (2011) 琵琶湖南湖のユスリカ相の現状. 日本陸水学会第76回大会講演要旨集, pp. 97.
- 井上栄壮・金子有子・七里将一・永田貴丸・西野麻知子・石川可奈子・廣田大輔・山中直・奥村陽子・一瀬諭・田中稔・藤原直樹・廣瀬佳則・東善広・宮永健太郎・水野敏明・大久保卓也 (2014) 試験研究報告 政策課題研究4 南湖生態系の順応的管理方法に関する研究. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書, 9, 15pp. <http://www.pref.shiga.lg.jp/d/biwako-kankyo/lber/03yomu/03-01kankoubutsu/03-01-03research_report/no9/files/report04.pdf>
- 金子有子・東善広・石川可奈子・井上栄壮・西野麻知子 (2011) 琵琶湖岸の環境変遷カルテ. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター, 大津, 47pp.
- 北澤武夫・辰己勝 (1990) 地形分類による琵琶湖湖岸の地域区分—湖岸における土地条件. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター, 38-63.
- 国土地理院 (1968、1969年改測) 湖沼図
- 国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所 (2013) 環境に関する取り組み <http://www.biwakokasen.go.jp/others/index_env.html>
- Miyadi, D. (1932) Studies on the bottom fauna of Japanese Lakes. IX. Lakes of the Yodo-gawa basin. Japanese Journal of Zoology, 4, 289~313.
- 水草繁茂に係る要因分析等検討会 (2009) 水草繁茂に係る要因分析等検討会 検討のまとめ. 水草繁茂に係る要因分析等検討会, 大津, 15+14pp.
- 永松正昭 (1979) セタシジミの増殖に関する研究 I. 流速及び底質に関する成長試験について. 滋賀県水産試験場研究報告, 31, 88~91.
- Nakamura, M., Y. Ogino, M. Akiyama and K. Moriyasu (2012) Evolving history of Lake Biwa and Yodo River Basin management. In: Kawanabe, H., M. Nishino and M. Maehata, ed., "Lake Biwa: Interactions between Nature and People", pp.372 ~ 417, Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London.
- 農林水産省 (2010~2013) 内水面漁業生産統計調査 <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/naisui_gyos_ei/#1>
- 農林水産省近畿農政局滋賀農政事務所 (1954~2009) 滋賀農林水産統計年報, 農林水産省近畿農政局滋賀農政事務所, 大津.
- 滋賀県 (2011) 琵琶湖総合保全整備計画 (マザーレイク21計画) 第2期改訂版. 滋賀県, 102pp.
- 滋賀県 (2012) 琵琶湖ハンドブック改訂版. 滋賀県環境政策課, 264pp.
- 滋賀県水産試験場 (1972) 昭和44年度琵琶湖沿岸帯調査報告書. 滋賀県水産試験場, 彦根, 121pp.
- 滋賀県水産試験場 (1998) 平成7年度琵琶湖沿岸帯調査報告書. 滋賀県水産試験場, 彦根, 178pp.
- 滋賀県水産試験場 (2005) 平成14~15年度琵琶湖沿岸帯調査報告書. 滋賀県水産試験場, 彦根, 204pp.
- 滋賀県立衛生環境センター (1990) 琵琶湖底質調査報告書 (昭和61年度~63年度). 滋賀県立衛生環境センター, 大津, 203pp.
- 滋賀県立衛生環境センター (2002) 琵琶湖底質調査報告書 (平成11年度~13年度). 滋賀県立衛生環境センター, 大津, 35pp.
- 立花吉茂 (1999) 琵琶湖の湖岸に分布するヨシとその特性について. 関西自然保護機構会報, 21(2), 125-131.
- 辰己勝 (1993) 野洲川下流平野の形成と地質特質. 中主町内遺跡分布調査(II)調査報告書, 13-26.
- 辰己勝 (2008) 湖岸環境変遷調査(土地条件). 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター, 83pp.
- 谷水久利雄・三浦泰蔵 (1976) びわ湖における沈水植物群集に関する研究 I. 南湖における侵入種オオカナダモの分布と生産能. 生理生態, 17, 283-290.
- 山口久直 (1938) 琵琶湖南部に於ける高等水生植物の生態分布. 生態学研究, 4, 17~26.
- 山口久直・津田松苗・鳥居元 (1943) 琵琶湖北山田付近の底棲生物. 陸水学雑誌, 13, 105~112.

1-3 南湖の課題とは？

井上栄壮

Abstract:

現在の南湖における課題を理解し、施策の方向性を検討するため、過去から現在までの南湖を取り巻く状況の変遷を整理した。1970年代頃までの食糧増産、治水、利水対策、1990年代頃までの水質汚濁対策を経て、現在の南湖ではさまざまな生物とその生息環境に関する課題が顕在化している。魚介類等の在来動植物の減少と生息環境の悪化、外来動植物の増加、増えすぎた沈水植物（水草）によって生じる障害等、これらの課題とその原因・要因は、一体の生態系の中で複雑に関係し合っていると考えられる。その解決に向けては、生態系全体を俯瞰した長期的な視点が必要であるが、複雑な生態系の科学的予測には常に不確実性が伴う。このことを考慮に入れた合理的な意思決定、モニタリングに基づく施策の実施等、生態系の順応的な管理手法の確立が急務である。

事務所，2013）。

1. はじめに：南湖を取り巻く状況の変遷

現在の南湖における課題を理解し、施策の方向性を検討するため、過去から現在までの南湖を取り巻く状況の変遷を表1に示す（e.g. 近畿農政局滋賀農政事務所，1954～2009；農林水産省，2010～2013；金子ら，2010，2011；滋賀県，2012b，2013a，b；琵琶湖河川

① 1950年代まで

1950年代頃までは環境や生態系が課題となることはほとんどなく、むしろ治水、利水、食糧増産が重要な課題であった。この頃から、湖岸や内湖の埋め立てや干拓が多く進められるようになった（e.g. 滋賀県，

表1 南湖生態系を取り巻く状況の変遷。

年代	湖内	水位・湖辺域	制度
～ 1949		1885年：台風・豪雨による高水位(+271cm)、田畑約11,800ha浸水、浸水日数140日 1890年：琵琶湖疏水(第一疎水)完成 1896年：琵琶湖大水害(+376cm)、浸水面積約14,800ha、浸水日数237日 1905年：南郷洗堰完成 1917年：台風による高水位(+143cm)、浸水家屋約3500戸、浸水日数50日	1944年：県営琵琶湖干拓地決定(内湖)
1950 ～ 1959	1957年：シジミ漁獲量ピーク(6,072t) 1959年：京都市水道で植物プランクトン(クロステリウム)による過障害	1953年：台風による高水位(+1m)、浸水面積約6,000ha 1957年：大中の湖干拓着手 1959年：台風による高水位(+100cm)	1950年：「琵琶湖国定公園」指定 1958年：「公共用水域水質保全法」制定
1960 ～ 1969	1965年頃：ブルーギル確認され始める 1965年：フナ類漁獲量ピーク(1,104t) 1969年：湖水のカビ臭発生	1961年：瀬田川洗堰完成 1963年：圃場整備開始 1965年：豪雨による高水位(+102cm) 1966年：木ノ浜湖岸埋立完工 1967年：大中の湖干拓完成 1969年：大津市公共下水道供用開始	1965年：「漁業調整規則」制定 1967年：「公害対策基本法」制定 1969年：「公害防止条例」制定
1970 ～ 1979	1970年頃～：アカムシユスリカ等「びわこ虫」大量に飛来し始める 1973年：オオカナダモ大繁茂 1974年：オオクチバス初確認 1974年：ホンモロコ漁獲量ピーク(372t) 1974年：コイ漁獲量ピーク(212t) 1974年：南湖T-Nピーク 1977年：植物プランクトン(ウログレナ)による大規模な淡水赤潮発生 1977年：南湖T-Pピーク	1972年：台風による豪雨による高水位(+92cm)、浸水家屋755戸 1972年：台風による高水位(+74cm)、浸水家屋6,995戸 1976年：湖岸堤整備開始	1970年：「水質汚濁防止法」制定 1972年：「琵琶湖総合開発特別措置法」公布 1972年：水質汚濁防止法「上乗せ排水条例」制定 1979年：「琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例」公布
1980 ～ 1989	1983年：南湖で初のアオコ発生 1985年：県による外来魚駆除対策開始 1989年：コカナダモ大繁茂	1982年：台風による高水位(+68cm)、浸水家屋1,221戸	1980年：「新琵琶湖環境保全対策(琵琶湖ABC作戦)」策定 1980年：「琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例」施行 1987年：「琵琶湖に係る湖沼水質保全計画」策定
1990 ～ 1999	1991年：アユ漁獲量ピーク(1,983t) 1995年頃～：沈水植物(水草)繁茂が拡大し始める	1990年：台風・豪雨による高水位(+70cm)、浸水家屋1,608戸、田畑浸水面積3,160ha 1991年：湖岸堤整備終了 1994年：観測史上最低水位(-123cm) 1995年：大雨による高水位(+95cm)、浸水家屋39戸	1992年：「瀬田川洗堰操作規則」制定 1992年：「ヨシ群落保全条例」施行 1993年：琵琶湖がラムサール条約登録湿地に決定 1996年「環境基本条例」施行 1997年：「琵琶湖総合開発事業」終結 1997年：「滋賀県環境総合計画」策定
2000 ～ 2009	2002：アカムシユスリカ最後の大発生	2004年：ナガエツルメイトウ初確認 2007年：ミズヒマワリ初確認 2009年：オオバナミズキンバイ初確認	2000年：「琵琶湖総合保全整備計画(マザーレイク21計画)」策定 2002年：「琵琶湖のレジャー利用の適正化に関する条例」制定、外来魚リリース禁止 2002年：「ヨシ群落保全条例」改正 2005年「外来生物法」施行、特定外来生物の指定 2006年：「ふるさと滋賀の野生動植物との共生に関する条例」制定、指定外来種の指定
2010 ～	2012年：植物プランクトン(スタウラストルム等)増加による透明度低下、水草の一時的減少	2013年：台風による高水位(+76cm)	2011年：「マザーレイク21計画」第2期改訂 2013年：「ふるさと滋賀の野生動植物との共生に関する条例」指定外来種の追加

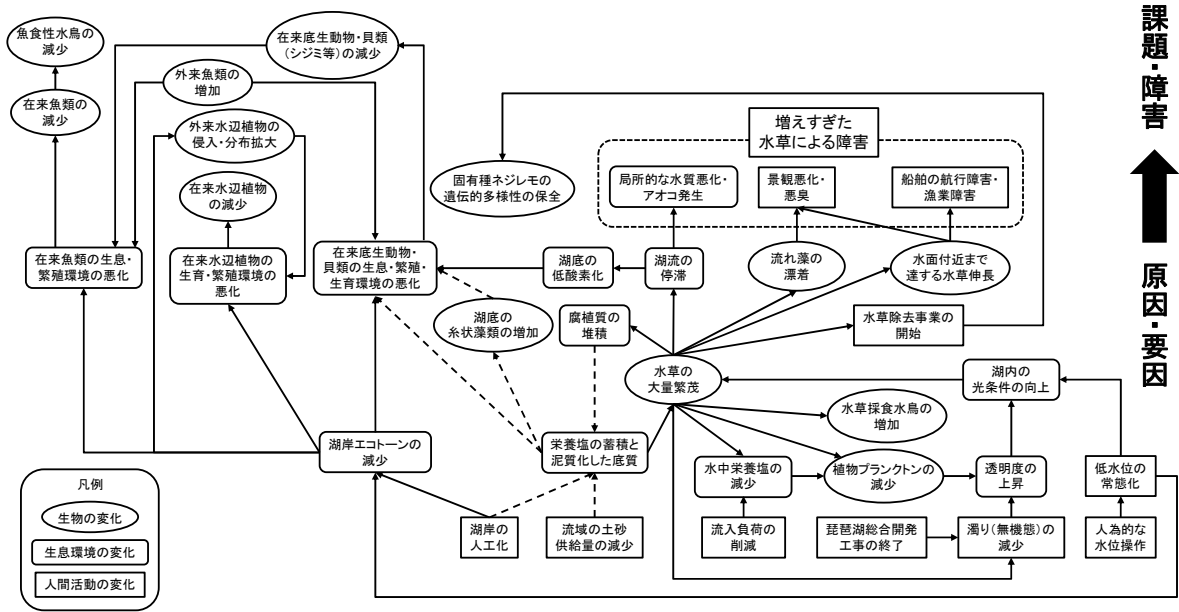


図1 南湖生態系の課題とその原因・要因の関係。
※関係性が明らかになっていない仮定の部分(点線)を含む。

2013b)。湖内では、1950年代はシジミ類の漁獲量が最も高かった(e.g. 近畿農政局滋賀農政事務所, 1954～2009；サイエンスレポート1-2)。

② 1960年代

1960年代になると、富栄養化による水質汚濁が進行し始め(e.g. 水草繁茂に係る要因分析等検討会, 2009)、1969年に「公害防止条例」が施行された。また、1961年に現在の瀬田川洗堰が完成し、疎通能力が向上した。生態系に関しては、水産資源の保護等を目的として、1965年に「漁業調整規則」が施行された。

③ 1970年代～1980年代

1972年に琵琶湖総合開発が開始され、1977年の大規模な淡水赤潮の発生など、水質汚濁対策が重要な課題となり(e.g. 滋賀県, 2012b)、1979年に「琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例」が施行された。その後、1980年代も水質汚濁は依然として大きな課題であったが、下水道の整備など流入負荷の削減が進められ、水質も改善しつつあった(e.g. 滋賀県, 2012b)。

一方、南湖で外来の沈水植物(水草)オオカナダモやコカナダモの異常繁茂(谷水・三浦, 1976；浜端, 1989)、外来魚のオオクチバスやブルーギルの分布拡大(e.g. 滋賀県, 2012b)、通称「びわこ虫」と呼ばれるアカムシユスリカの大発生(高木・岡本, 1993)、かつて生息していたカゲロウ類、トビケラ類等の在来

種の減少(e.g. 西野, 1991, 1992)など、水質以外の生態系の課題にも目が向けられ始めた。

④ 1990年代～現在

1997年に琵琶湖総合開発が完工し、1992年には湖岸堤の完成とともに「瀬田川洗堰操作規則」が施行された。また、1994年には観測史上最低水位(-123cm)を記録し、その後、南湖で水草繁茂が拡大し始めた(e.g. 水草繁茂に係る要因分析等検討会, 2009)。水質は改善傾向にある一方で、生態系・生物多様性の保全・再生が大きな課題となった(金子ら, 2010；滋賀県, 2011a)。

2. 現在の南湖の課題

現在の南湖生態系における課題(滋賀県, 2011a)とその原因・要因との関係は、明らかになっていないものも含めて図1のように仮定した。顕在化している課題の多くは生物の変化に関するもので、その原因・要因として生息環境の変化や人間活動の変化が考えられる。(図1)。

生物の変化に関する課題としては、

- ・ 在来魚類の減少
- ・ 在来底生動物・貝類の減少
- ・ 沈水植物(水草)の大量繁茂
- ・ 外来魚類の増加
- ・ 外来水辺植物の侵入・分布拡大

- ・魚食性水鳥（カワウを除く）の減少
- ・在来水辺植物の減少
- ・在来生物の遺伝的多様性の保護

等が挙げられる。かつて、南湖はセタシジミやホンモロコ等の重要な漁場であった（e. g. 中村, 1949；林ら, 1966）。しかし、現在は南湖の在来魚介類の漁獲だけでは生業としての漁業が成立困難なほど、在来魚介類が減少している（滋賀県, 2012a）。カイツブリ等の魚食性水鳥が減少していることも、餌となる在来魚類の減少がその原因のひとつと考えられる（e. g. 金子ら, 2010）。

また、南湖では、湖岸の73%が人工化されており、水位操作と相まってエコトーンが減少し、生物の生息・繁殖場所が劣化したと考えられる（金子ら, 2011）。このことは、近年の沈水植物（水草）繁茂および在来魚介類の減少との関連も指摘されている（水草繁茂に係る要因分析等検討会, 2009；滋賀県, 2013b）

さらに、外来動植物が侵入・定着し、在来動植物の脅威となっている（滋賀県, 2011b）。湖内ではオオクチバス、ブルーギルに代表される外来魚類、湖辺域ではオオバナミズキンバイに代表される侵略的外来植物について、根絶に向けた取り組みが進められている（金子ら, 2010；滋賀県, 2011a, 2012b, 2013a）。

加えて、これまでの生物多様性保全は種レベルで議論されることが多かった。在来動植物の地域個体群の保護や移植においては、個体または個体群（遺伝子）レベルの多様性に配慮する必要があるが、多くの動植物について遺伝的多様性が把握されておらず、今後の課題である（サイエンスレポート5-8）。

また、近年増えすぎた水草は、

- ・船舶の航行障害、漁業障害
- ・景観悪化、悪臭
- ・局所的な水質悪化・アオコ発生

等の物理的・生態的な障害の原因となっており（e. g. 水草繁茂に係る要因分析等検討会, 2009）、水草除去の取り組みが進められている（滋賀県, 2011a, 2013a）。一方、水草は透明度をはじめとする水質改善に寄与し（e. g. 浜端, 2011）、沿岸の水草帯は魚類の繁殖・生育の場として機能する（e. g. 平井, 1971）等、有益な面もある。したがって、水草の繁茂状態を適正に管理するための手法を確立することが喫緊の課題である。

3. 課題の解決に向けて

南湖生態系におけるこれらの原因・要因は、それぞれが複雑に関係し合っているだけでなく、ある課題が

別の課題の原因・要因にもなっている場合があると考えられる（図1）。すなわち、すべて一体の生態系の中でさまざまな課題が生じており、その解決に向けては生態系全体を俯瞰した長期的な視点が必要である。

また、南湖生態系は、琵琶湖とその流域、陸域まで含めた滋賀県全域、ひいては地球全体の生態系の一部であることを意識する必要がある。現在の南湖におけるさまざまな課題の解決に向けては、生態系全体を俯瞰した長期的な視点が必要であるが、複雑な生態系の科学的予測には常に不確実性が伴う。すなわち、生態系の動態を正確に予測することは困難であり、短期予測であっても大きな誤差を考慮せざるを得ず、長期予測となればさらに誤差が拡大する。また、生態系管理の施策自体が生態系の動態を変化させるため、意図しない効果が生じる場合もある。このことを考慮に入れた合理的な意思決定と合意形成、モニタリングに基づく施策の実施等、生態系の順応的な管理手法の確立が急務である（滋賀県, 2011a）。

引用文献

- 浜端悦治（1989）コカナダモの異常繁茂，オウミア：滋賀県琵琶湖研究所ニュース，29，5～6。
- 浜端悦治（2011）琵琶湖と水草，滋賀県立大学環境科学部環境科学研究科年報，15，10～11。
- 林一正・森主一・東怜・川那部浩哉・近畿地方建設局（1966）貝類班中間報告，びわ湖生物資源調査団中間報告，607～707。
- 平井賢一（1971）びわ湖内湾の水生植物帯における仔稚魚の生態 II. 水生植物帯にすむ仔稚魚の食性について．金沢大学教育学部紀要，20，59～71。
- 金子有子・栗林実・藤井伸二・佐々木寧（2010）琵琶湖湖辺域の外来植物と貴重植物，滋賀県琵琶湖環境科学研究センター，大津，48pp。
- 金子有子・東善広・石川可奈子・井上栄壮・西野麻知子（2011）琵琶湖岸の環境変遷カルテ．滋賀県琵琶湖環境科学研究センター，大津，47pp。
- 国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所（2013）琵琶湖の洪水の歴史，
<<http://www.biwakokasen.go.jp/biwako/rekishu/index.html>>
- 中村守純（1949）琵琶湖のホンモロコとその漁業，採集と飼育，11，79～82。
- 水草繁茂に係る要因分析等検討会（2009）水草繁茂に係る要因分析等検討会 検討のまとめ．水草繁茂に係る要因分析等検討会，大津，15+14pp。
- 滋賀県（2011a）琵琶湖総合保全整備計画（マザーレイク21計画）第2期改訂版，滋賀県琵琶湖環境部琵琶湖政策課，大津，102pp。
- 滋賀県（2011b）滋賀県で大切にすべき野生生物，滋賀県レッドデータブック2010年版．滋賀県生きもの総合調査委員会（編），サンライズ出版，彦根，583pp。
- 滋賀県（2012a）滋賀の水産（平成23年度），滋賀県農政水

- 産部水産課，大津，89pp.
- 滋賀県（2012b）琵琶湖ハンドブック改訂版，滋賀県琵琶湖環境部環境政策課，大津，264pp.
- 滋賀県（2013a）滋賀の環境 2013（平成 25 年版環境白書），滋賀県琵琶湖環境部環境政策課，大津，72pp.
- 滋賀県（2013b）内湖再生全体ビジョン，滋賀県琵琶湖環境部琵琶湖政策課，大津，48+30pp.
- 西野麻知子（1991）びわ湖の底生動物－水辺の生き物たち I. 貝類編，滋賀県琵琶湖研究所，大津，46pp.
- 西野麻知子（1992）びわ湖の底生動物－水辺の生き物たち II. 水生昆虫編，滋賀県琵琶湖研究所，大津，62pp.
- 農林水産省近畿農政局滋賀農政事務所（1954～2009）滋賀農林水産統計年報，農林水産省近畿農政局滋賀農政事務所，大津.
- 農林水産省（2010～2013）内水面漁業生産
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/naisui_gyosei/#1>
- 高木治美・岡本陸奥夫（1993）琵琶湖南湖におけるユスリカ成虫の経年変化，大津市環境監視センター所報，6，82～90.
- 谷水久利雄・三浦泰蔵（1976）びわ湖における沈水植物群集に関する研究 1. 南湖における侵入種オオカナダモの分布と生産能，生理生態，17，283～290.

1-4 順応的管理 (adaptive management) とは何か¹⁾

宮永健太郎

Abstract:

まず順応的管理 (adaptive management) に関する定義をいくつかの文献から紹介し、その本質が「科学と政策の連動」と「不確実性への対応」という 2 点に見出せることを示す。前者については、「試行錯誤 (trial and error)」や単なる「PDCA サイクル」との違いを強調する。また後者については、「生態系メカニズムに関する科学的知見の不足に由来する不確実性」や「生態系メカニズムに内在する不確実性」のもとで合意形成と意思決定を図るためのツールであることを具体的に説明する。

しかし現実には（滋賀も含め）なかなか本格的な実施ができていない状況を述べたのち、今後の課題として「技術的な問題」「制度・組織上の問題」「市民参加の導入と順応的ガバナンス (adaptive governance) への展開」といったトピックをとりあげ論じる。

1. 研究の背景と目的

1-1 研究の背景

保全すべき生態系のメカニズムをどの程度解明できているか、あるいは生態系保全事業の経過をどれだけしっかりとモニタリングし、そのデータを活用していけるかといったことは、南湖生態系保全の成否と成果を大きく左右すると考えられる。以下本稿で詳述していくように、こうした考えに基づく生態系管理は通常「順応的管理 (adaptive management)」と呼ばれており、近年は県内外含め行政のさまざまな計画書の中で頻繁に言及されるなど、ごく一般的な用語にもなりつつある。

しかし、確かに用語としては広く流通し始めてはいるものの、そもそも順応的管理とは何なのか曖昧な形でしか理解されていなかったり、順応的管理の考え方を実際に適用し成果を挙げるのに苦慮していたりしている状況が少なくない。そういった状況下で南湖生態系保全に順応的管理の考え方をそのまま全面的に導入しようとしても、期待通りの成果は得られないと予想される。

順応的管理という概念、あるいは順応的管理が機能するための社会的・制度的条件について、改めて正確に理解しておくことが求められている。

1-2 本稿の目的

研究課題研究「南湖生態系の順応的管理に関する研究」において筆者は、南湖生態系の順応的管理を目指すうえで必要となる制度のあり方について検討してきた。その成果をふまえ、本稿では順応的管理について主に社会科学視から議論する。具体的には、順応的管理に関する定義をいくつか紹介し、そのエッセンスを整理するとともに、順応的管理を実践に移すうえでの課題について論じてみたい。

2. 順応的管理とは何か

2-1 いくつかの定義

順応的管理は、一般的には図 1 のようなプロセスが想定されている。

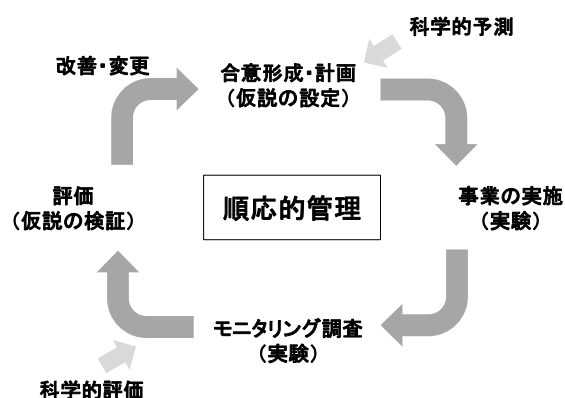


図 1 順応的管理のプロセス

出典) 日本生態学会編 (2010: 43) 図 2.4.1 を一部改変

しかし他方で順応的管理は、学術的にせよ実践的にせよ何か確立された単一の定義が存在していないのが現状であり、論者によってその言葉の使い方は微妙に異なっている。それこそが、順応的管理に関する曖昧な理解が続く大きな要因となっているのだが、とはいえ、諸論者間で大まかに共有されているエッセンス (本質) のようなものが存在するのもまた確かである。

そこでここでは、数ある定義のうち、エッセンスを比較的簡潔にしかも要領よく伝えていたと思われるものについて、いくつか紹介しておきたい。

・” We define adaptive management as an approach to managing complex natural systems that builds on learning - based on common sense, experience, experimenting, and monitoring- by adjusting practices based on what was learned.” (Sexton et al 1999: 506)

・” Adaptive management is a structured rigorous process designed to improve management policies and practices by learning from the outcomes of operational programs.” (D’ Eon 2008)

・「仮説となる計画の立案—事業の実施—モニタリングによる検証—事業の改善」の繰り返しにより事業を成功に導く、円環的な、あるいは螺旋階段的なプロジェクトサイクルによる科学的な管理手法」（鷲谷・鬼頭編 2007: 6）

これらの諸定義をふまえて、本稿では順応的管理のエッセンスとしてとりわけ以下の2点に注目する。それは、以下述べる「科学と政策の連動」と「不確実性への対応」である。

2-2 順応的管理のエッセンス(1): 科学と政策の連動

図1を見てたちまち分かること、それは自然科学的知見に基づいた仮説設定や生物多様性モニタリングなどが順応的管理実施の鍵を握っているという点である。そして、政策の実施が事前に設定した仮説の検証となるよう、あるいは政策の実施とモニタリングとがパッケージとなるようプロセスデザインが施されていることにも、注目しておかなくてはならない。

つまり、順応的管理の本質の一つは「科学と政策の連動」である。平易な言葉で言い換えれば” learning by doing” (e. g. Nadasdy 2007: 209) であるが、これは、何でもよいのでとりあえず実施してみて、駄目ならまた違う方法を試せばよいといった「試行錯誤 (trial and error)」的発想、あるいは実施後の評価・見直し結果を次のステップに活かすさえすればよいといった「素朴なPDCAサイクル」的発想と明確に区別する意味でも、より強調されてしかるべきである (e. g. Murray and Marmorek 2004, Parma et al 1998)。

この「科学と政策の連動」というポイントは、南湖生態系保全にあたって科学的知見をどのように活用するか、そしてそのための体制づくりをどのように図るのかという課題を我々に提起する。具体的には、大学や自然系博物館、それに公設試験研究機関などの組

織が行政といかに連携し、各組織が有する科学的知見を政策の立案・実施・評価・見直しのために活用するのか、という課題である。

2-3 順応的管理のエッセンス(2): 不確実性への対応

南湖に限らず、生態系保全という取り組みは、多かれ少なかれ生態系メカニズムに対して何らかの働きかけを行うことを意味している。したがって事前にそのメカニズムの構造や機能を理解しておかなければ、その働きかけがどのような結果を生むのか、あるいはそもそもいなくなる働きかけが必要なのかをあらかじめ見通すことはできない。しかし、それに関する我々の科学的知見はまだ非常に限られたものでしかない（「生態系メカニズムに関する科学的知見の不足に由来する不確実性」）。

あるいは、仮にメカニズムに関する我々の理解が一定程度進展したとしても、その非定常的な性質から、実際どのような挙動を示すのかを予測することは非常に難しい（「生態系メカニズムに内在する不確実性」）。したがって、メカニズムへの働きかけすなわち生態系保全策によって想定通りの結果が得られるのかどうか、実際に対策を実施してみなければ分からない、というのが常となっている。

このように生態系管理は、往々にして不確実性下における合意形成や意思決定の問題に直面せざるを得ないのであり、それこそが生物多様性問題の大きな政策的特質でもある。あるいは、次のように述べる方がむしろ的確かもしれない。そうした不確実性から完全に逃れることができないという前提のもとで、生物多様性や生態系に係る事業の意思決定をどう合理的に行えばよいのか。そのための工夫として提唱されたのが、他ならぬ順応的管理というアイデアだったのである。

逆に言えば、不確実性の問題がそれほど重要ではないケース、例えばある事業や取り組みがどのような結果をもたらすのか、それにある自然現象をもたらしているのはどのような生態系要因なのか事前に明らかかなケースでは、順応的管理のようなアプローチはそもそも不要である。つまり、取るべき合理的な対策を、遺漏なく着実に実施すれば済むだけの話である (e. g. Johnson et al 1999b)。

3. 順応的管理の実施をめぐる今後の課題

3-1 順応的管理の実情

順応的管理には前節で示したようなエッセンスが含まれるものの、それらは常にそのままの形で実現し

ているわけではない。反対に、順応的管理というアイデアをいざ実施に移して成果を挙げようとするれば、たちまちいくつかの障壁にぶつからざるを得ないのが現状である。そうした状況は、日本はもちろん世界的にも広く顕在化している。

ここではその理由として、「技術的な問題」「制度・組織上の問題」「市民参加の導入と順応的ガバナンス (adaptive governance) への展開」という計3点のトピックをとりあげたい。こうしたテーマについて正確に理解しておくことは、南湖生態系保全に順応的管理を本格的に導入するための前提条件だからである。

3-2 今後の課題(1): 技術的な問題

順応的管理の実施に対する障壁の一つは、容易に想像がつくように、技術的な問題に由来するものである。具体的に挙げていこうとなれば枚挙に暇がないが、ここではさしあたり以下の点をとりあげる。

国内で順応的管理の導入が進みつつある政策領域として、例えば獣害対策 (より広義にはワイルドライフマネジメント) や水産資源管理を挙げることができる (e.g. 松田 2008)。しかしこれらはいずれも生物種レベルでの適用が主となっており、より広く生態系のレベルとなると、メカニズムの複雑さ、それに科学的予測や的確・着実なモニタリングの困難さは格段に高まってしまう。したがって、順応的管理の適用エリアをかなり絞り込むといったことをしない限り、その実施可能性はどうしても小さくなってしまふ。実際、順応的管理の考え方がいち早く主唱されたアメリカなどでは、目に見える成果を挙げられずに消滅したり、際限ない仮説モデルいじりのプロセスに迷い込んだりする例もあるという (Walters 1997)。

3-3 今後の課題(2): 制度・組織上の問題

確かに「科学と政策の連動」や「不確実性への対応」が順応的管理の本質なのだが、「もっと科学を」「もっとモニタリングを」「もっとデータを」といった姿勢を貫くだけでは問題が解決しないところに、順応的管理の難しさがある。というのも、順応的管理の実施障壁には技術的なものに加えて制度的・組織的なものも含まれるからであり (Walters 1997)、むしろそのようなケースの方が多いという指摘もある (Johnson 1999a)。

これまでの議論を振り返って改めて気づくのは、順応的管理というのは、つまるところ政策の意思決定 (decision making) に関連する概念だということである。実際に順応的管理を導入しようとするれば、行政

内外の意思決定の仕組みやプロセスは従来のものから大きな変容を余儀なくされるが、制度的・組織的な要因が順応的管理の実施障壁になるということは、まさにこの点と関連している。

まず指摘しておくべきは、順応的管理は体系的なモニタリングの実施などで高コストとなる割には、期待通りの成果を生むとは限らないなど大きなリスクを伴うため、本格的に実施しようというインセンティブが実施主体の側に働きにくい (e.g. Keith et al 2011, Walters 1997, McLain and Lee 1996) という問題である。生態系保全策の実施主体は一般的には行政ということになるが、「公金を原資としている」「各種法律・条例による縛りが強い」といった性質上、行政という組織がそもそもリスクを取りにくい存在であるということも、その傾向に拍車をかけている。

また、仮に実施に至ったとしても、順応的管理には通常の従来型生態系管理に比べて実施主体 (主に行政) の裁量性を高める側面があるため、活動全体の目的適合性やプロセスの適法性を常に確認するとともに、「達成した成果等に基づき評価し規制するシステム」も備えておく必要がある (畠山 2009)。特定のごく狭い区画で試験的な事業をするというレベルならともかく、南湖のような広いエリアで複数の事業を展開する中で順応的管理の全面的適用を試みるのであれば、その点はますます問われてくるであろう。

さらにここでは、政策目的の問題についても言及しておきたい。順応的管理においては政策目的が大きな役割を果たすが (Lee 1999)、それはそもそも順応的管理というアイデアが、目的や目標についてはすでに合意が済んでいるものの、不確実性のためにその達成のための手段が事前に明らかでない、というケースでの適用が想定されたものだからである (Scholz and Stiftel 2005)。

つまり、具体的な政策目的の存在は、順応的管理実施の前提条件なのである。逆にいえば、政策目的に関する社会的合意がないまま順応的管理の適用を図れば、「何のための順応的管理だったのか」が曖昧になりやすいなど、その政策手段としての意味は大きく損なわれてしまう (e.g. McLain and Lee 1996)。本稿の趣旨からすれば、あるべき南湖生態系ビジョンやその具体的な政策目標を掲げ、関係主体間で共有することの重要性を示すものに他ならない。

3-4 今後の課題(3): 市民参加の導入と順応的ガバナンス

前節でも示したように、順応的管理は生態系に関する自然科学的知見の適用といった単なる技術的対応レベルにとどまるものではなく、社会的対応もその射程に含まれてくる。そのことが如実に表れるもう一つの政策テーマが、市民参加である。ちなみに、市民参加は順応的管理の実施に際しても重要な意味をもつと言われており (Stringer et al 2006)、「順応的管理のことを”New partnerships among citizens, managers, and scientists”と表現する論者もいるくらいである (Johnson et al 1999: 210)。

仮に技術的対応の側面だけから順応的管理を考えるのであれば、そこで欠かせない要素となるのは行政と研究者の連携であり、市民の意見や参加などは二義的な論点となりかねない。しかし、前述の通り順応的管理の現場では科学的な不確実性がつきものなので、そのプロセスにおいて想定外の事態が起きたり、望ましい結果が必ず得られるわけではなかったりする。したがって、地域住民を中心とした利害関係者の理解・合意を得るための場やプロセスを欠くならば、順応的管理の円滑な取り組みは望めない (宮永 2012)。順応的管理の実施に際し市民参加が必要になるのは、まずはこのような実務的理由による。

それに市民参加の重要性は、近年順応的管理の分野で新たに「順応的ガバナンス (adaptive governance)」 (Brunner et al 2005, Folke et al 2005, 宮内編 2013) なる概念が登場していることとも大いに関連する。管理 (management) というどうしても技術的・官僚的なイメージがつきまとうし、しかもそこでは事前に非専門家を説得して後から文句が出ないようにする一種のガス抜きとして順応的管理という手法が機能し、「説得する人 (専門家)」と「説得される人 (非専門家)」の非対称が再生産されてしまうといった事態も起きかねない (富田 2007)。そうした管理像を嫌い、むしろステークホルダーの関わりなどの社会的過程を強調するのが、順応的ガバナンスという概念である。

こうした点は南湖生態系保全の順応的管理を考える上でも示唆に富むものであり、一部の研究者と行政担当者だけで順応的管理を主導し、他方で地域住民や一般市民は蚊帳の外に置かれたまま、といった事態に陥らないようにするためにも、この点は改めて心に留めておく必要がある。

補注

¹⁾本稿の内容の大半は、宮永 (2014) に依拠している。

引用文献

- Brunner, R.D., Steelman, T.A., Coe-Juell, L., Cromley, C.M., Edwards, C.M. and Tucker, D.W., (eds), (2005) *Adaptive Governance: Integrating science, policy and decision making*, Columbia University Press.
- D'Eon, R. (2008) Adaptive management: learning from doing in the face of uncertainty, *SMF Network Research Note Series No.* 29. (<http://www.for.gov.bc.ca/hfp/amhome/Publications/researchnotes/SFM-ResearchNote-No29.pdf>)
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P. and Norberg, J. (2005) Adaptive governance of social- ecological systems, *Annual Review of Environment and Resources* 30, pp.441-473
- 畠山武道 (2009) 「生物多様性保護と法理論 — 課題と展望 —」環境法政策学会誌第 12 号、pp.1-18.
- Johnson, B.L. (1999a) Introduction to the special feature: Adaptive Management - Scientifically Sound, Socially Challenged?, *Conservation Ecology* 3(1): 10. (<http://www.consecol.org/vol3/iss1/art10/>)
- Johnson, B.L. (1999b) The Role of Adaptive management as an Operational Approach for Resource Management Agencies, *Conservation Biology* 3(2):8 (<http://www.consecol.org/vol3/iss2/art8>)
- Johnson, N.C., Malk, A.J., Szaro R.C. and Sexton, W.T. (eds) (1999) *Ecological Stewardship: A Common Reference for Ecosystem Management, Volume 1*, Elsevier Science.
- Keith, D.A. et al (2011) Uncertainty and adaptive management for biodiversity conservation, *Biological Conservation*, 144, pp.1175-1178.
- Lee, K.N. (1999) Apprising Adaptive Management, *Conservation Biology*, vol.3(2):3. (<http://www.consecol.org/vol3/iss2/art3>)
- McLain, R.J. and Lee, R.G. (1996) adaptive management: promises and pitfalls, *Environmental Management*, Vol20(4), pp.437-448.
- 松田裕之 (2008) 『生態リスク学入門 — 予防的順応的管理』共立出版
- 宮永健太郎 (2014) 「順応的管理: 環境経済・政策学の視点」『環境経済・政策研究』第 7 巻第 1 号.
- 宮永健太郎 (2012) 「水・森をめぐる公共政策とそのガバナンス — 水源環境保全・再生かながわ県民会議の意義と教訓」諸富徹・沼尾波子編著『水と森の財政学』日本経済評論社、pp.159-181
- 宮内泰介編 (2013) 『なぜ環境保全はうまくいかないのか— 現場から考える「順応的ガバナンス」の可能性』新泉社
- Murray and Marmorek, 2004, Adaptive management: A Spoonful of Rigor Helps the Uncertainty Go Down, *the 16th International Annual Meeting of the Society for Ecological Restoration, Victoria, British Columbia, Canada – August 23rd to 27th*, (http://www.essa.com/media/Murray_Marmorek_adaptive_management_SER_conference.pdf)
- Nadasdy, P. (2007) Adaptive Co-Management and the Gospel of Resilience, in Armitage, D., Berkes, F. and Doubleday, N. eds, *Adaptive Co-Management: Collaboration, Learning, and Multi-Level Governance*, UBC Press, pp.208-227.
- 日本生態学会編、矢原徹一・松田裕之・竹門康弘他監修 (2010) 『自然再生ハンドブック』地人書館
- Parma A., Amarasekare P., Mangel M., Moore J., Murdoch W.W., Noonburg E., Pascual M. A., Possingham H. P., Shea, K.,

- Wilcox C. and Yu D. (1998) What can adaptive management do for our fish, food and biodiversity?, *Integrative Biology* 1, pp.16–26.
- Scholz, J.T. and Stiftel, B. (eds) (2005) *Adaptive Management and Water Conflict: New Institutions for Collaborative Planning*, Resources for the Future Press.
- Sexton, N.C., Malk, A.J., Szaro R.C. and Johnson, N.C.(eds) (1999) *Ecological Stewardship: A Common Reference for Ecosystem Management, Volume III*, Elsevier Science.
- Stringer, L.C., Dougill, A.J., Fraser, E., Hubacek, K., Prell, C. and Reed, M.S. (2006) Unpacking “Participation” in the Adaptive Management of Social-ecological systems: a critical review, *Ecology and Society*, vol. 11(2), pp.719-740.
- 富田涼都 (2007) 「自然の設計」の思想—生物多様性を保全するしくみを「設計」するために『環境—設計の思想』東信堂, pp.181-212
- Walters, C. (1997) Challenges in adaptive management of riparian and coastal ecosystems, *Conservation Ecology*, Vol.1(2):1. (<http://www.consecol.org/vol1/iss2/art1/>)
- 鷺谷いづみ・鬼頭秀一編 (2007) 『自然再生のための生物多様性モニタリング』東京大学出版会