

4 開発途上国における湖沼等の富栄養化の現状と対策

開発途上国の湖沼は、熱帯地域、亜熱帯地域、温暖地域、寒帯地域に存在し、気候条件や経済条件等を異にしており、かつ閉鎖性（滞留日数）、水深、水温、流域負荷量等が多様であり、それにより湖沼の富栄養化の特徴は異なり、またその対策の考え方も当然異なってくる。本章では、上記の点を踏まえ、開発途上国の湖沼の富栄養化の現状を述べるとともに対策の展望等についても言及する。

4 - 1 太湖

4 - 1 - 1 流域・湖沼の特徴

太湖は、中華人民共和国の江蘇省に位置する(図 4-1-1)。長江(揚子江)下流域に属し、河口三角洲に近い場所に位置するため水面標高は 3.1m である。北緯 30 度 55 分 40 秒・同 31 度 32 分 58 秒、東経 119 度 53 分 32 秒～同 120 度 36 分 10 秒にまたがる面積 2,427,800,000m²、水容積 4,300,000,000m³ に及び中国第 3 位の淡水湖として知られている。

太湖は、平均水深 2m、最大水深 4m の典型的な浅水湖沼である。太湖の内部には、大小 51 の島が点在しており、島の総面積は 89.7km² に達する。このうち最大の島は洞庭西山島で面積 79 km² を占める。

太湖流域には、無錫市(総人口 426 万人)、蘇州市(総人口 572 万人)など人口密度の高い大都市が存在し、流域の人口

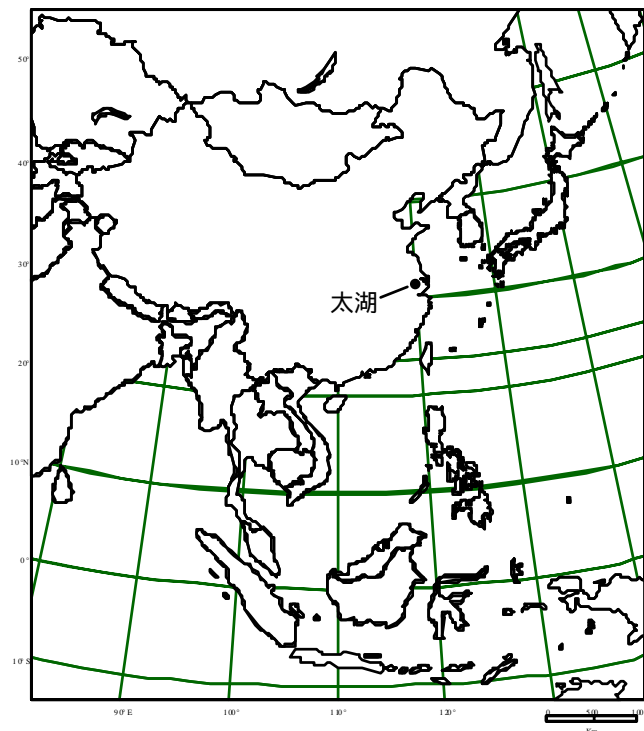


図 4-1-1 太湖位置図

は約 3,000 万人、人口密度は約 900 人・km² である。流域の 39.6% が農耕地として活用されている。太湖には 70 の流入河川、および 224 の流出河川が存在し、周辺の河川などと接続している。太湖における年間漁獲高は約 13,700 トンである。太湖への流入水量は毎秒 195m³、太湖内の水理学的滞留時間は 0.79 年である。

4 - 1 - 2 湖沼の現状

太湖は、流域からの負荷増大が著しく環境衛生上大きな問題を抱えている。流域都市からの生活系および産業系の未処理放流水が主要な汚濁負荷である。中国政府による水環境改善の最重点湖沼に指定されている。太湖内の富栄養状態は均一ではなく、図 4-1-2 に示すとおり湖西部の西太湖と称される区域および無錫市南西部に位置する太湖最北部となる梅梁湖と称される区域において富栄養化が特に著しい状況にある。また、太湖の中で比較的富栄養度の低い中栄養状態の場所は洞庭西山島北部の譚湖および胥湖と称される区域で、刀魚産卵保護区に指定され養殖用生け簀が設置されている。太湖全域には、表層に写真 4-1-1 に示すようにアオコが認められ、風により写真にみられるようなアオコの風紋が縞状に見られることがある。

太湖の平均水質は、透明度：0.15～1.00m（7～8月）、pH：8.0（表層）、SS：50mg・⁻¹、D₀：9.56 mg・⁻¹、COD：1.04～5.21 mg・⁻¹、NH₄-N：0.108 mg・⁻¹である。太湖全域にアオコ（*Microcystis aeruginosa aeruginosa*）が高密度に発生しており、アオコの集積域においてはアオコ密度が1リットルあたり452万群体にも達している。また、このアオコが産生する有毒物質マイクロキスチンは、家畜や人の健康に重大な影響を及ぼし世界各地で大きな社会問題となっている。太湖で検出され報告されているマイクロキスチンはマイクロキスチンRR、同YR、同LRが中心である。太湖における全マイクロキスチン現存量は太湖最北部の梅梁湖で、0.57 μg・⁻¹と報告されている。また、アオコ集積域におけるマイクロキスチンの定量では、マイクロキスチンRR：219 μg・⁻¹、マイクロキスチンYR：120 μg・⁻¹、マイクロキスチンLR：105 μg・⁻¹という濃度が報告されている。世界保健機構（WHO）の飲料水質としての規定値がマイクロキスチンLRで1 μg・⁻¹であることを鑑みると、太湖のアオコ由来のマイクロキスチン現存量は、健康衛生上極めて憂慮される状況にある。

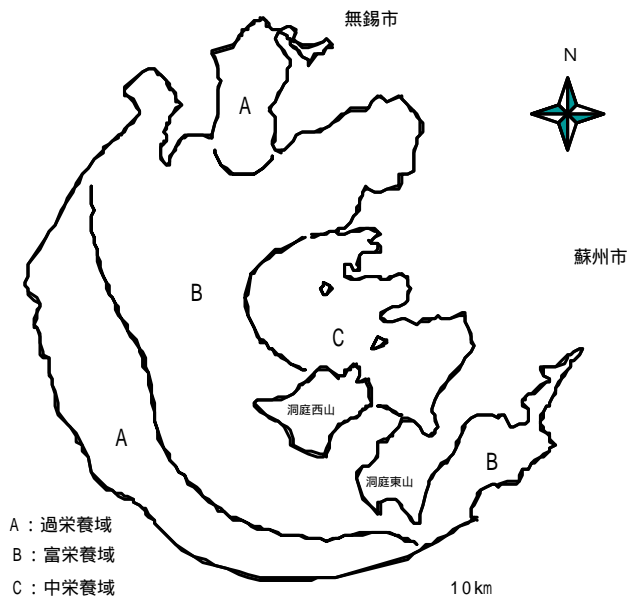


図 4-1-2 太湖の栄養類型地図

4 - 1 - 3 対策の現状と今後のあり方

太湖では、富栄養化に起因したアオコの異常増殖が例年認められ、さらにアオコの産生する毒性物質マイクロキスチンが極めて高い濃度で溶存していることが明らかにされている。このため浄水場における生物膜を用いたアオコの分解除去や活性炭による毒性物質の吸着除去など緊急に毒性物質対策を講ずる必要が指摘されている。

太湖への流入汚濁負荷削減には、流域への下水道の整備や高度処理浄化槽の普及などが抜本的な対策として有効であることは論を待たない。しかしながら、広大な流域の全ての汚濁負荷源にこうした対策を敷設することは莫大な経費と相当な時間を要することも事実である。現在、



写真 4-1-1 筋状のアオコが認められる太湖景観

汚濁負荷源となっている太湖流域の大規模事業場からの産業系排水には厳しい排水規制を課し、未処理放流をなくして負荷削減を推進している。比較的大規模な事業場排水に対しては、こうし

た対策が功を奏しつつある。しかしながら，家庭から排出される生活雑排水や小規模事業場などからの未処理放流水に対しては設備投資および維持管理経費の問題から高度処理浄化槽などの早急な普及が望めない状況にある。

こうした発生源に対して設備投資および維持管理経費が低廉で，かつ大きな負荷削減効果が期待される処理手法として環境生態工学を活用した処理手法が注目されている。本手法は土壌トレンチ処理や水生植物植栽浄化法など，生態系を有効活用した処理をすることが特徴で，広大な敷地面積を必要とすることが短所として挙げられるものの，設備投資および維持管理経費が低廉であることを大きな特徴としている。こうした低コストで持続可能な生態系修復技術の有効活用が現実的な対応として大きな注目を集めている。

また，湖内に大量に生育しているホテイアオイなどの浮遊植物やササバモ，セキシウモなどの沈水植物を回収して家畜飼料化する取り組みも，太湖全域で行われている。写真 4-1-2 はホテイアオイを回収して運搬している様子を，また，写真 4-1-3 はササバモ，セキシウモなど



写真 4-1-2 ホテイアオイを回収して運搬している様子



写真 4-1-3 沈水植物を回収して運搬している様子

の沈水植物を回収して運搬している様子をそれぞれ示したものである。ホテイアオイについては，大量に収穫することによりホテイアオイ資源の枯渇が憂慮されることはないが，ササバモ，セキシウモなどの沈水植物については，ミジンコなどの小型甲殻類や稚魚の成育場所，成魚の産卵場所などとしても大きな役割を果たしているため，資源管理の視点から管理された条件のもとでの回収が必須になるものと考えられる。

4 - 2 デンチ湖

4 - 2 - 1 流域・湖沼の特徴

デンチ湖は，中華人民共和国の雲南省に位置する（図 4-2-1）。雲貴高原に位置するため水面標高は 1887m である。北緯 24 度 29 分～同 25 度 28 分，東経 102 度 29 分～同 103 度 01 分にまたがる面積 2,920km²，湖長 114km，平均湖幅 25.6km，最大水容積 1,593,100,000m³ に及ぶ中国第 6

位の淡水湖として知られている。

デンチ湖の平均水深は 5.1m，最大水深は 11.3m のである。デンチ湖は南北方向に細長い形状をなし，湖北部に雲南省の省都である昆明市（総人口 347 万人）を抱えている。集水域面積は 2,920km² に及び集水域内の人工密度は約 690 人・km² である。デンチ湖への流入河川は，新河（流域面積 112.5km²），大青河（流域面積 205.2km²），柴河（流域面積 256.4km²），東大河（流域面積 180.4km²）など主要なものだけでも 14 以上の大河川が流入しており，その流入水量は年間合計 696,000,000m³ に達する。

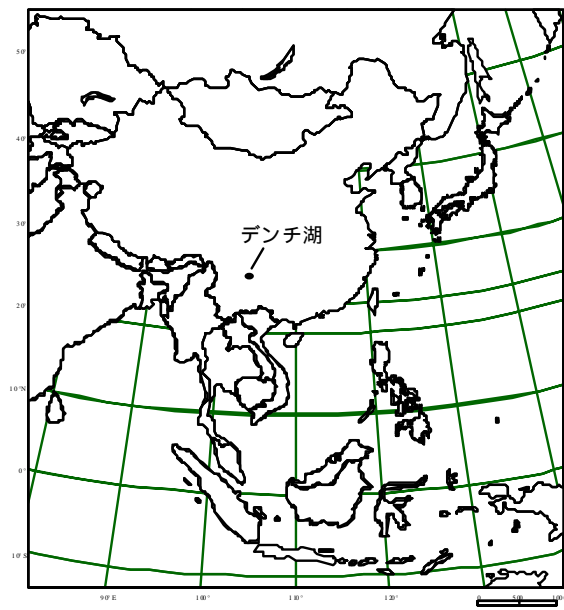


図4-2-1 デンチ湖位置図

4-2-2 湖沼の現状

デンチ湖は南北に細長く，北部にくびれた草海と南部に広がる広大な外海とに区分されている。流入汚濁負荷の大きな割合を占める昆明市街域からの排水は，大現河を経て草海に流入し，その後，外海へと流下する経路をたどる。このため外海に比較して草海の富栄養度が高いことが特徴であり，草海域は過栄養状態にある。デンチ湖では全域にアオコが認められ，特に草海では，写真 4-2-1 に示すとおり表層にマット状にアオコの膜が形成されている。草海および外海の水質は，それぞれ COD：15.7 mg・⁻¹，6.5mg・⁻¹，BOD：12 mg・⁻¹，3.4 mg・⁻¹，TOC：12.4 mg・⁻¹，8.3 mg・⁻¹，T-N：8.7 mg・⁻¹，1.2 mg・⁻¹，T-P：0.79 mg・⁻¹，0.09 mg・⁻¹ である。これらの水質からも草海域の富栄養化が深刻な状況にあることが示唆される。草海では，全域にアオコ

(*Microcystis aeruginosa aeruginosa*) が高密度に発生しており，アオコの集積域においてはアオコ密度が 1 リットルあたり 395 万群体にも達している。植物プランクトンは草海・外海あわせて 39 科 87 属が報告されており，優占種はいずれの水域においても *Microcystis* 属，*Oscillatoria* 属，*Anabaena* 属などの藍藻類である。これらの藍藻類を優占種とした植物プランクトンの現存量は，草海で 1 リットルあたり 64,670,000，外海で 1 リットルあたり 13,649,000 であり，草海で外海の約 4.7 倍に達している。



写真 4-2-1 アオコに覆われたデンチ湖（草海）

デンチ湖への流入汚濁負荷源として大きな割合を占める昆明市における原単位は 1 日 1 人あたり，COD_{Cr}：41.5g，BOD：20.7g，T-N：8.06g，T-P：0.765g，SS：19g と算定されている。これから 1995 年の昆明からの年間汚濁負荷は，COD：18,800t，BOD：9,400t，T-N：3,700t，T-P：350t，

SS：7,400t と見積もられ、同 2000 年には、COD：20,900t，BOD：10,400t，T-N：4,100t，T-P：390t，SS：8,200t に増加したものと推計されている。

4 - 2 - 3 対策の現状と今後のあり方

デンチ湖の富栄養化対策は、流域管理手法、点源管理手法、非点源管理手法、湖区管理手法の 4 つの対策手法と行政的手法とによって推進されている。行政的手法とは、法令や条例などによる排水規制、モニタリングによる汚濁状況の正確な認識、汚濁状況の広報による現状認識の共有化などが主なものである。また、

4 つに大別される対策手法については、以下に示す手法が具体的に挙げられている。流域管理手法：流域外からの導水、点源管理手法：排水処理施設の整備・排水の資源化再利用・リン含有洗剤の使用規制、非点源管理手法：水源涵養林の拡大・表層土壌の流入防止のための植林・計画的な適正量施肥の遵守、湖区管理手法：漁業の振興・計画的な水生植物現存量増大・直接曝気などである。このうち、

点源管理手法として特に生活系排水が重点におかれていること、湖内に豊富な現存量を維持している水生植物を積極活用した生態工学の視点をもちこんだ対策に重点をおいていることなどが特徴である。水生植物の活用においては、低コストで低維持管理が可能な処理手法として広域な適用が検討されており、大きな注目を集めている。特に浮遊植物であるホテイアオイは異常増殖して水路閉塞を引き起こし、舟の航行に支障を来すほどであるのが現状である。このホテイアオイを有効活用することが可能になれば、資源としての価値が見いだされなかったものを資源化・有効再利用できることとなり、大きな期待が寄せられている。

写真 4-2-2 は、草海につながる水路において、航路を閉塞させるほど繁茂しているホテイアオイを筏に回収している様子を示したもの

である。このホテイアオイを収集して写真 4-2-3 のように粉碎して乾燥させ、粉末状の肥料としている。現在、コストも含めた有効活用の可否についての検討が行われており、無用の長物



写真 4-2-2 ホテイアオイ回収作業



写真 4-2-3 ホテイアオイ乾燥肥料化工程

であったホテイアオイを資源化有効再利用する新しい取り組みとして大きな注目を集めている。

また、写真 4-2-4 は、湖内に異常増殖したアオコを吸引・採集して脱水ケーキ化し、圧縮乾燥して定型固形ペレットとした家畜飼料である。現在、アオコの含有率などに関し、豚を用いた実験が続けられており、近い将来に家畜用蛋白源としてアオコが有効活用されるようになるものと大きく期待されている。ペレット飼料の工業化コストも

含めた有効活用の可否についての検討が先のホテイアオイ活用手法の開発と共に資源化有効再利用する新しい取り組みとして大きな注目を集めている。



写真 4-2-4 アオコをペレット化した家畜飼料

4 - 3 アルハイ湖

4 - 3 - 1 流域・湖沼の特徴

アルハイ湖は、中華人民共和国の雲南省に位置する（図 4-3-1）。雲貴高原に位置するため水面標高は 1,974m である。北緯 25 度 25 分～同 26 度 16 分，東経 99 度 32 分～同 100 度 27 分にまたがる面積 250km²，南北湖長 42.5km，平均湖幅 6.3km，最大水容積 802,000,000m³ に及ぶ淡水湖として知られている。

高山域に位置するアルハイ湖は流域に多くの森林帯を有する。アルハイ湖の西岸には海拔 3074～4122m の蒼山が 19 峰連なり，これらの山域から 18 の溪流がアルハイ湖に注いでいる。

アルハイ湖の最大水深は 21m 平均水深は 10.5m である。アルハイ湖は図 4-3-2 に示すように南北方向に細長い形状をなし，湖南部に下関，湖西部に古城大理など大きな大きな市街地を抱えている。

アルハイ湖には，異なる風向の風が同時にふくため，湖水に反時計回りの表層流が生じることが特徴として挙げられる。この風に起因した湖水流の減衰係数は水深 2m の部分において毎秒 2.25×10^{-5} と報告されている。

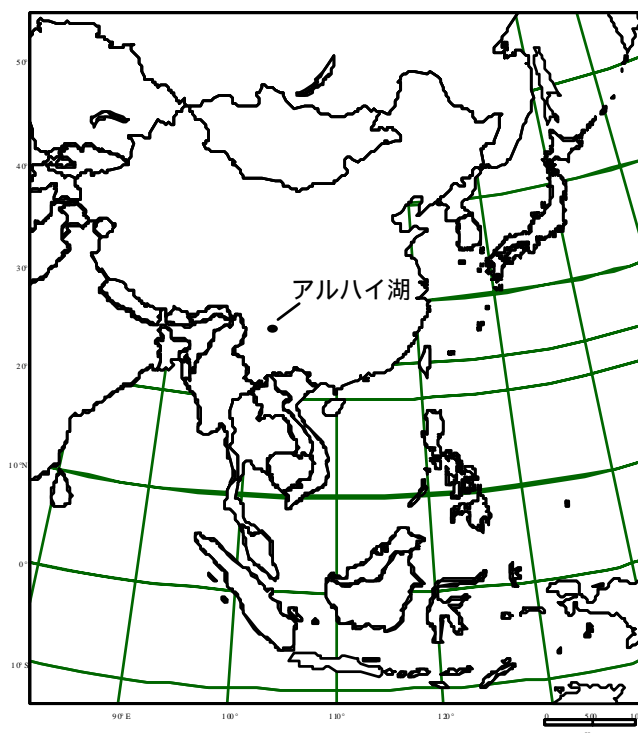


図4-3-1 アルハイ湖位置図

4 - 3 - 2 湖沼の現状

アルハイ湖周辺は山岳地帯である。このため標高 2200 ~ 3000m の集水域は森林帯であり、標高 3000m 以上は森林限界を超えた高山帯に属する。アルハイ湖への主な汚濁負荷は水面標高である 1974m から標高 2200m の間に帯状に発達した市街地や農耕地である。流域の土地利用形態は、19.8%が森林、24.8%が灌木林、2.5%が草地、9.5%が水田、水域湿地が 9.5%、市街地等が 2.6%などである。

アルハイ湖の水質は、COD : $2.8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, BOD : $1.3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, T-N : $0.31 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, T-P : $0.018 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ である。アルハイ湖の水質は、上記平均水質から評価すると他の富栄養化湖沼に比較すると清冽である。それでも生活系の排水が流入するためこのためアルハイ湖の一部では写真 4-3-1 に示すとおり、アオコが帯状に発達する現象が認められている。現在、アルハイ湖において最も懸念されている問題点は、富栄養化よりも水位の下降に伴う水資源の減少に重点がおかれている。1952 年から 1988 年までの分析によると、1977 年以前の 25 年間の平均水位が 1974m で湖面面積は平均 255 km^2 以上、平均貯水量約 29 億 m^3 であった。しかしながら、1977 年以降、水位の減少が続き 1977 年から 1988 年の 12 年間の平均水位は 1972.3m にまで約 1.7m 低くなった。このため貯水量は 24.9 億 m^3 へと約 4.3 億 m^3 減少している。

水資源の減少に起因して水辺の植生帯が大きな影響を受け、豊富に繁茂していた水生植物の現存量低下が大きな問題となっている。また水生植物現存量の著しい低下は、漁業資源としての魚類の産卵場所の消失、水生植物帯を生息場所にしていた数多くの水生生物の絶滅などを引き起こし、大きな社会問題へと発展してきている。全世界的規模において絶滅の危機にあるガシャモクなど貴重な水生植物の生息地として名高いアルハイ湖の水草帯が、水位低下により干出の危機にあることは、こうした水生植物の地球上からの絶滅を意味するものである。

高山域に位置するアルハイ湖は流域に多くの森林帯を有することが特徴であるが、この森林が伐採され保水力が低下していることも懸念されている。アルハイ湖西岸の蒼山地域の森林被

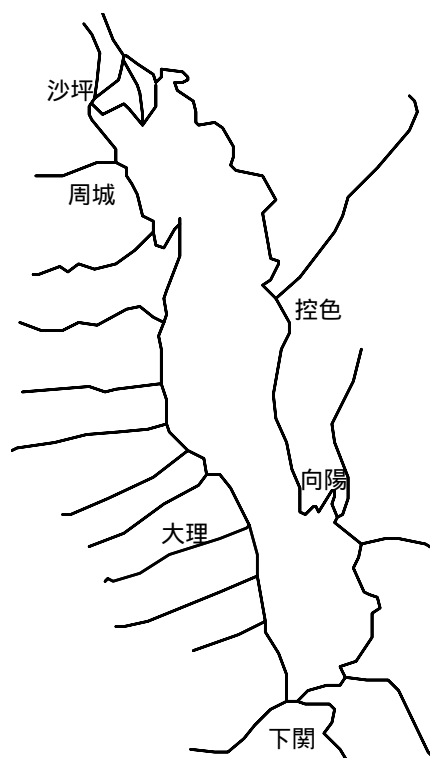


図4-3-2 アルハイ湖流域図



写真 4-3-1 アルハイ湖に発達したアオコ

覆率は 11.4%あるものの、アルハイ湖東岸は森林が農耕地などに開拓されてしまっている。全体平均で 11.9%とされる森林被覆率についても、疎林や針葉樹林が数多く含まれており、水源涵養に大きく貢献する成熟した落葉広葉樹林の比率が極めて低くなっていることが問題とされている。

4 - 3 - 3 対策の現状と今後のあり方

富栄養化防止対策としては、水質規制を実施することが中心である。排水濃度規制を、全窒素濃度 $0.5\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、全リン濃度 $0.025 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ とし、併せて重点規制地域をアルハイ湖西岸の万花、中和、大理、貴州などの水域、および控色付近の水域などに設定して総量規制を年間窒素 1254.48 トン、リン 62.72 トンに制限している。

流入水域の保水力低下に対しては、植林事業の積極的推進による森林植生の復帰を促進している。また、人工養殖における投餌管理や観光・物資輸送用船舶の管理など様々な管理を行い、アルハイ湖の水環境保全を多方面

から推進している。これらの中でアルハイ湖に特異的かつ重要な施策は、水生植物の保護育成である。アルハイ湖の湖岸には、ササバモ、ガシャモク、センニンモ、エビモ、ミズオオバコなど多種多様な沈水植物が繁茂しており、これらの沈水植物が、アシ、マコモなどの抽水植物、ヒシなどの浮葉植物と相まって、水域における自然浄化機能に大きな役割を果たしている。アルハイ湖では、これらの水生植物を水質浄化のためのみならず、



写真 4-3-2 アルハイ湖で行われている沈水植物の採

水産養殖のための稚魚の成育場所などとしても活用する目的で積極的に保護育成している。現在、写真 4-3-2 に見られるように無造作に行われている沈水植物の刈り取り・家畜肥料化については、規制を設けて水生植物資源の保護育成を重視することが必要になるものと考えられる。今後水生植物の保護育成など、自然生態系を最大限に活用し、浄化機能を発揮せしめるという事業の方向性はアルハイ湖における重要な取り組みになると考えられる。

4 - 4 ノン・ハー湖

4 - 4 - 1 流域・湖沼の特徴

ノン・ハー湖は、タイ王国サコーン・ナコーン県に位置し、タイ王国の東北部であるイサーン地方、バンコクから約 650km 東北の北緯 17 度 12 分、東経 104 度 11 分に位置する（図 4-4-1）。ノン・ハー湖は、1946 年に造成された人造湖である。水面面積 135.2km^2 、平均水深 2.0m、最大水深 3.0m、最大貯水量 $267.7 \times 10^6\text{m}^3$ である。集水域面積は約 $1,653\text{km}^2$ 、水面標高は満水時において海拔 156m、湖岸長は 115.6m である。図 4-4-2 に示すとおり南北から主に 4 つの大きな河川が

流入しており，東へ流出河川が出ている。農地灌漑目的のほか，漁場として水産業振興に大きく寄与している。

4-4-2 湖沼の現状

ノン・ハー湖は，湖岸に位置する県都サコーン・ナコーン市（人口 27,000 人：1991 年）の生活系排水により富栄養化が進行している。同市の総負荷量は，窒素 87.4 トン・年⁻¹，リン 24.6 トン・年⁻¹と見積もられている。これら総負荷量のうち，約 70%が未処理のままノン・ハー湖に流入しているものと考えられる。サコーン・ナコーン市以外の流域人口は，約 20,000 人（1991 年）であり，総負荷量として見積もられる窒素 64.9 トン・年⁻¹，リン 18.3 トン・年⁻¹のうち，約 10%がノン・ハー湖に流入しているものと考えられる。また，畜産排水は，総負荷量で窒素 613 トン・年⁻¹，リン 456 トン・年⁻¹と見積もられている。この畜産排水も約 10%が未処理で直接ノン・ハー湖に流入している。ノン・ハー湖に流入する年間総負荷量は，生活系および畜産系など全体で窒素 129 トン・年⁻¹，リン 64.8 トン・年⁻¹と見積もられている。

7月の水質は，クロロフィル量：2.92 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，pH：7.3，透明度：74cm，D0：6.9 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ （表層）・5.7 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ （底層）， $\text{NO}_3\text{-N}$ ：0.62 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\text{PO}_4\text{-P}$ ：0.11 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，水温：

30.9℃，アルカリ度 31.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，硬度 39.3 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ である。10月の水質は，クロロフィル量：5.57 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，pH：5.9，透明度：93cm，D0：6.7 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ （表層）・5.2 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ （底層）， $\text{NH}_3\text{-N}$ ：0.23 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\text{NO}_2\text{-N}$ ：0.056 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\text{NO}_3\text{-N}$ ：1.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\text{PO}_4\text{-P}$ ：0.43 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，水温：28.7℃，アルカリ度 25 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，硬度 17 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ である。

ノン・ハー湖は全体に水深の浅い湖沼であるが，北部側でより水深が浅い湖底形状をなしている。このため北部を中心に湖底部に多くの沈水植物，抽水植物などが繁茂している。また，ホテ

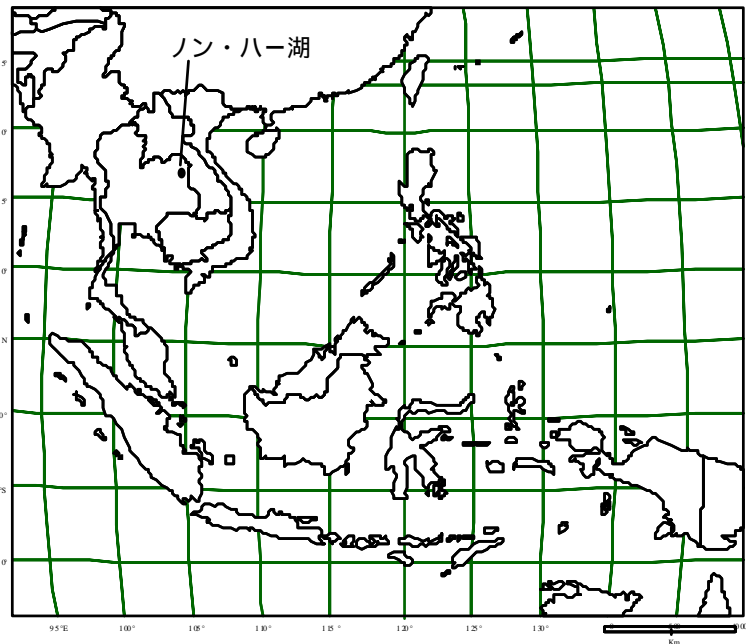


図4-4-1 ノン・ハー湖位置図

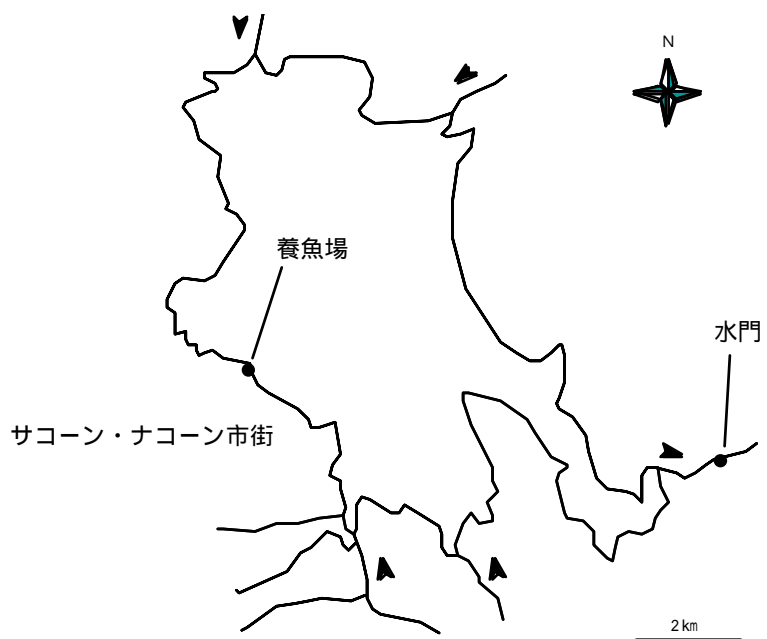


図4-4-2 ノン・ハー湖流域図

イアオイを中心とする浮遊植物の現存量も多い。これら水生植物の年間生産量は、沈水植物で785,600トン、浮遊植物で714,950トンと見積もられている。富栄養化が進行により、湖面にはアオコ (*Microcystis aeruginosa aeruginosa*) の群体が認められる。写真 4-4-1 は、沈水植物が繁茂しているノン・ハー湖の景観を示したものである。

水産資源としては、魚類の現存量が $32.3\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ と見積もられており、*Tetraodon leirurus* (タイ・レオパードパUFFER)、*Ambassis siamensis* (タカサゴイシモチ属の仲間)、*Notopterus notopterus* (インディアン・ナイフフィッシュ) が優占種で、現存量は全魚類現存量のそれぞれ31.5%、18.4%、15.0%を占めている。ノン・ハー湖の魚類相は、魚類の食性から見ると肉食性魚類が魚類現存量全体の37.8%を占め、最も高い割合であることが特徴である。



写真 4-4-1 沈水植物が繁茂しているノン・ハー湖景観

4 - 4 - 3 対策の現状と今後のあり方

ノン・ハー湖では富栄養化によりアオコが発生している。出現するアオコは藍藻類 *Microcystis aeruginosa aeruginosa* が優占種である。本種は、有毒物質ミクロキスチンを産生することが知られている。ノン・ハー湖でのミクロキスチン定量値の報告はないが、同じタイ王国チョンブリー県に位置するバン・プラ貯水池 (水容積 $1.17 \times 10^6\text{m}^3$) では、ミクロキスチン-RR、ミクロキスチン-LR、ミクロキスチン-YR の各異性体が検出され、貯水池の湖心部での全ミクロキスチン濃度は $0.014 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (1999.11) であったことが報告されている。ノン・ハー湖でも水温が30以上が高まること、富栄養状態で栄養塩類が十分に存在すること、などからバン・プラ貯水池同様に今後もアオコの増殖がつづき、アオコの産生するミクロキスチンの問題がますます顕在化していくものと懸念されている。

ノン・ハー湖で特徴的なことは、魚類相が著しく肉食魚に偏っており、全魚類現存量の約38%がタイ・レオパードパUFFERなどの肉食魚で占められることである。しかしながら、これら肉食魚の食物源となるプランクトン食魚の現存量も全魚類現存量の約19%維持されている。このことは、プランクトン食魚の生息場所が確保されていることを示唆するものである。実際に、ノン・ハー湖での調査において、水生植物帯が広範囲に維持されていることが確認されており、この水生植物生産量が湖全体で $1,588,120 \text{トン} \cdot \text{年}^{-1}$ に達していることが明らかにされている。これらの水生植物生息空間は、プランクトン食魚などの稚魚生育の場としてのみではなく、透明度向上に大きく寄与することが報告されているミジンコなどの大型甲殻類の現存量維持にも大きく貢献している。

今後、流入負荷の増大に対応するためには、未処理の流入汚濁負荷に対する浄化施設の整備が

抜本策として重要であることは論を待たない。しかしながら、膨大な建設費と維持管理コストを必要とする浄化施設の敷設・運営のみならず、自然生態系を活用した湖沼の直接浄化にも大きな期待が寄せられている。特に、ノン・ハー湖ではササバモ、エビモ、セキショウモなど数多くの沈水植物が湖岸のみならず湖全体に大きな群落を形成しており、水生植物を浄化の場として活用することが大きく期待されている。現在ある水生植物の生息場所を保護育成し、さらなる水生植物の現存量増大策をとることが低維持管理コストで高い水質浄化効果を発揮せしめるノン・ハー湖の浄化対策として重要な位置づけになるものと考えられている。

4 - 5 クワン・ファヤオ湖

4 - 5 - 1 流域・湖沼の特徴

クワン・ファヤオ湖は、タイ王国ファヤオ県に位置し、首都バンコクの約730km北の北緯19度10分、東経99度53分に位置する(図4-5-1)。クワン・ファヤオ湖は、1938年に約2km²の池だった場所に堰を築き、造成された人造湖である。水面面積23.46km²、平均水深2.03m、最大水深4.5m、最大貯水量47.68×10⁶m³である。水面標高は満水時において海拔391.5m、湖岸長は25.3mである。クワン・ファヤオ湖は、図4-5-2に示すとおりファヤオ市街地近くに水門を設けて河川をせき止めたため、単純な形状を呈している。農地灌漑目的のほか、漁場として水産業振興に大きく寄与している。

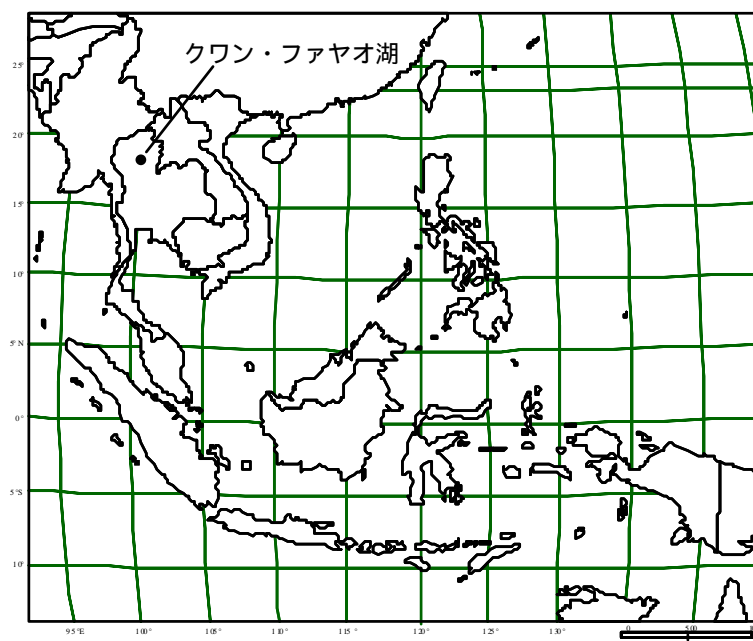


図4-5-1 クワン・ファヤオ湖位置図

4 - 5 - 2 湖沼の現状

クワン・ファヤオ湖は、集水域からの未処理放流水により富栄養化が進行している。流域での最大の負荷源は、流域の畜産排水およびファヤオ市街地(人口26,000人:1991年)からの生活系排水である。ファヤオ市の総負荷量は窒素82.6トン・年⁻¹、リン23.2トン・年⁻¹と見積もられている。ファヤオ市をはじめとするクワン・ファヤオ湖流域では、排水処理システムが未構築であるため、総負荷量の約10%の排水が未処理でクワン・ファヤオ湖に直接流入している。また、畜産排水は、総負荷量で窒素171トン・年⁻¹、リン129トン・年⁻¹と見積もられている。この畜産排水も約10%が未処理で直接クワン・ファヤオ湖に流入している。クワン・ファヤオ湖に流入する年間総負荷量は、生活系および畜産系など全体で窒素77.4トン・年⁻¹、リン29.9トン・年⁻¹と見積もられている。

7月の水質は、クロロフィル量:5.24 μg・l⁻¹、pH:7.4、透明度:73cm、D₀:6.1mg・l⁻¹(表層)・5.3mg・l⁻¹(底層)、NO₃-N:0.19mg・l⁻¹、PO₄-P:0.035mg・l⁻¹、水温:30.2℃、アル

カリ度 $34.3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, 硬度 $34.7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ である。10 月の水質は, クロロフィル量: $3.74 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, pH: 6.0, 透明度: 140cm, DO: $6.0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (表層)・ $3.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (底層), $\text{NH}_3\text{-N}$: $0.27 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, $\text{NO}_2\text{-N}$: $0.020 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, $\text{NO}_3\text{-N}$: $1.7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, $\text{PO}_4\text{-P}$: $0.020 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, 水温: 27.7 , アルカリ度 $41 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, 硬度 $35 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ である。

クワン・ファヤオ湖は湖底がなだらかなすり鉢状で最深部の水深が 4.5m という浅い池沼である。このため池岸から中心部に向かってなだらかな湖底部に多くの沈水植物, 抽水植物などが繁茂している。また, ホテアオイを中心とする浮遊植物の現存量も多く, 浮遊植物はゆるやかな水流により水門付近に集積している。これら水生植物の年間生産量は, 沈水植物で 67,670 トン, 浮遊植物で 34,000 トンと見積もられている。

水産資源としては, 魚類の現存量が $166 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ と見積もられており, *Tilapia nilotica* (ティラピア), *Pristolepsis fasciata*, *Notopterus notopterus* (インディアン・ナイフフィッシュ) が優占種で, 現存量は全魚類現存量のそれぞれ 53.6%, 19.7%, 9.4% を占めている。クワン・ファヤオ湖の魚類相は, 魚類の食性から見ると草食性の魚類が魚類現存量全体の 55.7% を占めていることが特徴である。

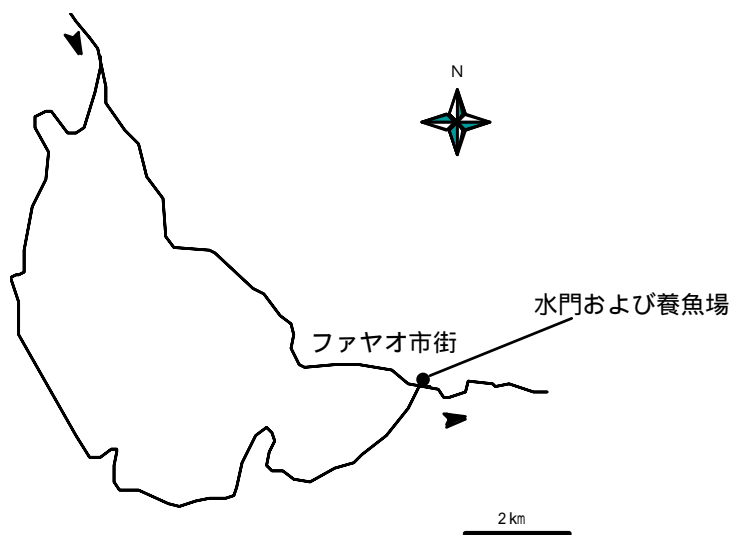


図4-5-2 クワン・ファヤオ流域図

4-5-3 対策の現状と今後のあり方

クワン・ファヤオ湖への流入負荷の内, ファヤオ市からの生活系排水については, 酸化池による浄化が検討されている。クワン・ファヤオ湖集水域において比較的大きな市街地はファヤオ市のみである。現在までにファヤオ市には下水道や排水処理施設は整備されておらず, 生活雑排水は垂れ流しの状態である。このため酸化池の整備により生活系排水の汚濁負荷は大きく削減されるものと期待されている。本酸化池が整備されることにより, 流入するアンモニア性窒素の 35~85% が除去されるものと見込まれている。酸化池法は広大な敷地と長い滞留時間を必要とすることが短所としてあげられているが, クワン・ファヤオ湖流域のように比較的広大な土地が活用できる地域においては, 設置や維持管理が低コストですむ酸化池が有効な対策手法になるものと考えられる。

一方, 畜産排水など非点源の汚濁源に対しては, クワン・ファヤオ湖へ流入する過程および流入したのちのクワン・ファヤオ湖内における自然浄化機能を強化する手法が有効であると考えられる。流域内の水路およびクワン・ファヤオ湖内に水生植物を植栽した水生植物植栽浄化法を活用することが大きな効果を発揮するものと期待されている。植栽植物をパックブン(空芯菜)など市場価値のある植物にすることにより, 人間による定期的な刈り取りが容易に行われ, 植栽植物の枯死による栄養塩類の再溶出の懸念も払拭できる。こうした取り組みを地域住民との合意の上で推進し, 水生植物がクワン・ファヤオ湖の浄化に大きく貢献していることを啓蒙することも

重要な位置づけになるものと考えられる。

4 - 6 ブン・ボラペット湖

4 - 6 - 1 流域・湖沼の特徴

ブン・ボラペット湖は、タイ王国ナコーンサワン県に位置し、首都バンコクの約 250km 北の北緯 15 度 42 分、東経 100 度 15 分に位置する（図 4-6-1）。ブン・ボラペット湖は、1926 年に造成された人造ダム湖である。水面面積 204.5km²、平均水深 1.4m、最大水深 5.0m、最大貯水量 218.2×10⁶m³ である。水面標高は満水時において海拔 23m、湖岸長は 62.5m である。ブン・ボラペット湖は、河川を水門でせき止め図 4-6-2 に示すとおり東西に細長い形状を呈している。農地灌漑目的のほか、漁場として水産業振興に大きく寄与している。

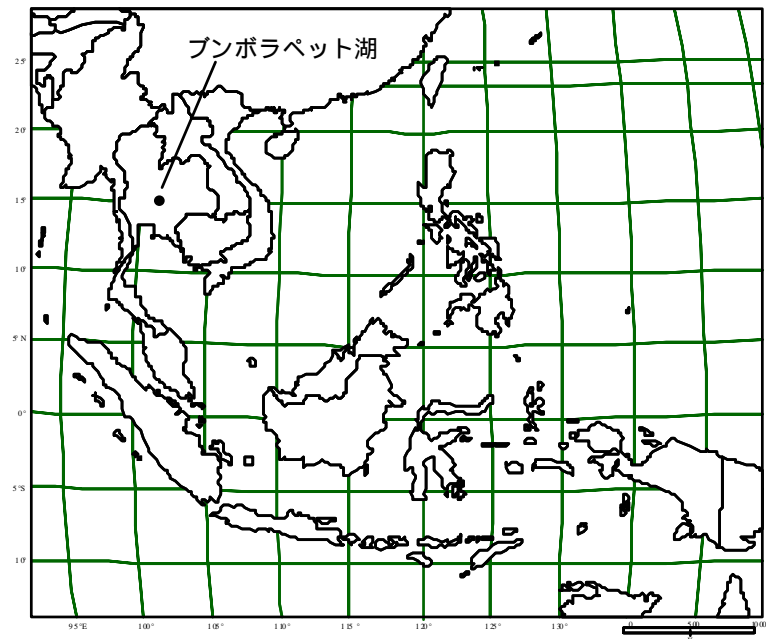


図4-6-1 ブンボラペット湖位置図

4 - 6 - 2 湖沼の現状

ブン・ボラペット湖は、流域の多くの部分がハス栽培地となっている。ハス栽培のために大量の殺虫剤が散布されており、この薬剤がブン・ボラペット湖に流入して水質に悪影響を及ぼし、水産資源である魚類を斃死させるなどの影響を及ぼしている。県都のナコーンサワン市はブン・ボラペット湖から遠く離れており、ブン・ボラペット湖には大きな市街地からの流入汚濁負荷は存在しない。ブン・ボラペット湖の周囲には約 6,800 人の人口を数えるのみであり、集水域の人口密度は 92.2 人・km⁻² である。これら集水域内人口による生活系からの総負荷量は窒素 21.8 トン・年⁻¹、リン 6.1 トン・年⁻¹ と見積もられている。本総負荷量の約 10% が未処理でブン・ボラペット湖に直接流入している。また、畜産排水は、総負荷量で窒素 149 トン・年⁻¹、リン 107 トン・年⁻¹ と見積もられている。この畜産排水も約 10% が未処理で直接ブン・ボラペット湖に流入している。ブン・ボラペット湖に流入する年間総負荷量は、全体で窒素 14.9 トン・年⁻¹、

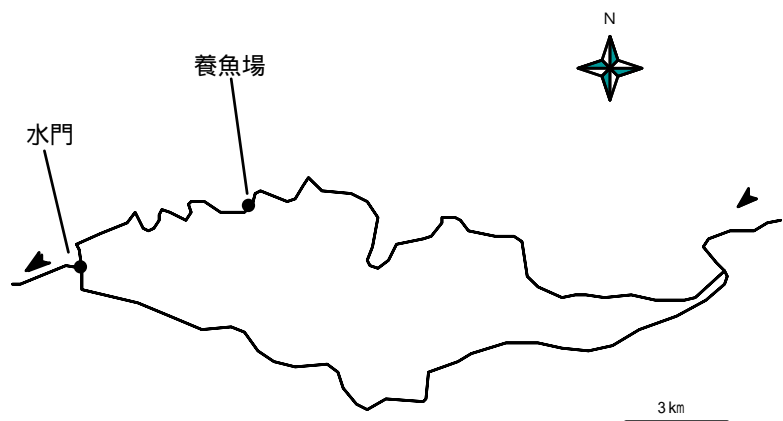


図4-6-2 ブンボラペット湖流域図

リン 10.7 トン・年⁻¹と見積もられている。

7月の水質は、クロロフィル量：4.12 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、pH：6.6、透明度：109cm、DO：5.4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ （表層）・4.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ （底層）、NO₃-N：0.55 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、PO₄-P：0.051 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、水温：28.6℃、アルカリ度 101.6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、硬度 81.8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ である。10月の水質は、クロロフィル量：4.54 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、pH：5.8、透明度：157cm、DO：5.7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ （表層）・4.7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ （底層）、NH₃-N：0.43 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、NO₂-N：0.075 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、NO₃-N：1.4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、PO₄-P：0.51 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、水温：30.1℃、アルカリ度 61 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、硬度 48 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ である。

ブン・ボラペット湖は、大きく3つの部分に分けて考えることができる。すなわち、流入部である東部の浅く、西部に向かってなだらかに湖底が傾斜している湖幅の狭い部分、中央部の広がった水塊部、および西部の水門近くの沈水植物が大きな群落を形成している部分の3つである。流入部にあたる東部地区には水辺の抽水植物群落の現存量が多いことが特徴で、中央部および西部の水門近くは沈水植物および浮葉植物が繁茂している。また、ホテイアオイを中心とする浮遊植物の現存量も多く、湖全体に散在している。これら水生植物の年間生産量は、沈水植物で529,000トン、浮遊植物で325,620トン、抽水植物で200,800トンとそれぞれ見積もられている。水生植物全体での年間生産量は1,190,420トンである。

水産資源としては、魚類の現存量が84.2 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ と見積もられており、*Pristolepsis fasciata*、*Notopterus notopterus*（インディアン・ナイフフィッシュ）、*Osteocheilichthys hasselti*が優占種で、現存量は全魚類現存量のそれぞれ35.6%、22.4%、12.8%を占めている。ブン・ボラペット湖の魚類相は、魚類の食性から見ると昆虫食性の魚類が魚類現存量全体の58.0%を占めていることが特徴である。

4-6-3 対策の現状と今後のあり方

ブン・ボラペット湖は、集水域に大規模な市街地を含んでいないことを特徴としている。このため点源対策よりも非点源対策が重要な位置づけにある。ハス栽培に伴う農薬の使用に関しては、仕様自粛を要請することができないため、適正量使用による余剰薬剤の流入を阻止することに重点がおかれている。

また、ここでは魚類相が昆虫食性に大きく偏っていることに着目し、漁業による栄養塩のブン・ボラペット湖からの排除が大きな効果を発揮せしめることが可能と考えられる。すなわち、水産業として人間が魚を捕獲してブン・ボラペット湖から排除することにより、魚が捕食した水生昆虫、さらに水生昆虫が捕食した微小動物・藻類・小型魚類、と食物連鎖に伴い取り込まれ濃縮蓄積された栄養塩類・有機物を有効に排除でき、かつその漁獲行為が生業として人間生活に組み込まれたかたちで成立させるものである。現状においても漁獲が行われていることから、この漁獲量を大幅に引き上げることにより、ブン・ボラペット湖からの栄養塩・有機物の削減をはかることが可能であると考えられる。特に魚類相が昆虫食性に大きく偏っていることから、昆虫食性魚類の食物源である水生昆虫の現存量を増大させること、すなわち水生昆虫の生息空間をより大きく確保することが有効な対策につながるものと考えられる。水生昆虫の生息空間をより大きく確保するためには、水生植物帯の充実が最も有効であると考えられることから、ブン・ボラペット湖における対策の方向性は、水生植物の現存量増大を目指した手法になるものと考えられる。

4 - 7 ラグナ湖

4 - 7 - 1 流域・湖沼の特徴

ラグナ湖は、フィリピン共和国ルソン島中部のリザル州・ラグナ州に位置し、首都マニラの約40km南東、マニラ湾の東、北緯14度02′～05′分、東経121度00′～05′分に位置する(図4-7-1)。ラグナ湖は、Laguna de Bay と呼ばれ、別名バイ湖とも呼ばれている。フィリピン共和国で最大の湖沼である。かつてマニラ湾の一部だったものが、湖南部一帯の火山活動により噴出物残滓が堆積してマニラ湾から切り離され湖が造られた。現在では海水が混じる汽水湖となっている。マニラ首都圏を流れるパシグ川をはじめ大小21の河川が流入している。ラグナ湖は、図4-7-2に示すとおり、中央に南北に細長いタリム島が横たわり、北岸からは大きな半島が二つラグナ湖につきだした複雑な形状を呈している。湖底には火山性降下物が大量に堆積しており、最大水深7.3m、平均水深2.8m、最大貯水量 $3,200 \times 10^6 \text{m}^3$ である。水面標高は海拔1.8m、湖岸長は220km、集水域面積 $3,820 \text{km}^2$ である。ラグナ湖流域の土地利用は、41%が林地など自然植生、52%が農耕地、その他が6.5%である。集水域の人口は1980年値で238.1万人、人口密度は約713人・ km^{-2} である。ラグナ湖の水は、農地灌漑目的のほか、漁場として水産業振興に大きく寄与している。

4 - 7 - 2 湖沼の現状

ラグナ湖への流入汚濁負荷は、農業系が40%、工場・事業場系が30%、生活系が30%である。生活系排水は、マニラ首都圏からパシグ川を通じて流入する他、湖北のパシグ、湖南東のサンタクルスなどの市街地からの負荷も年々増大している。工場・事業場系の

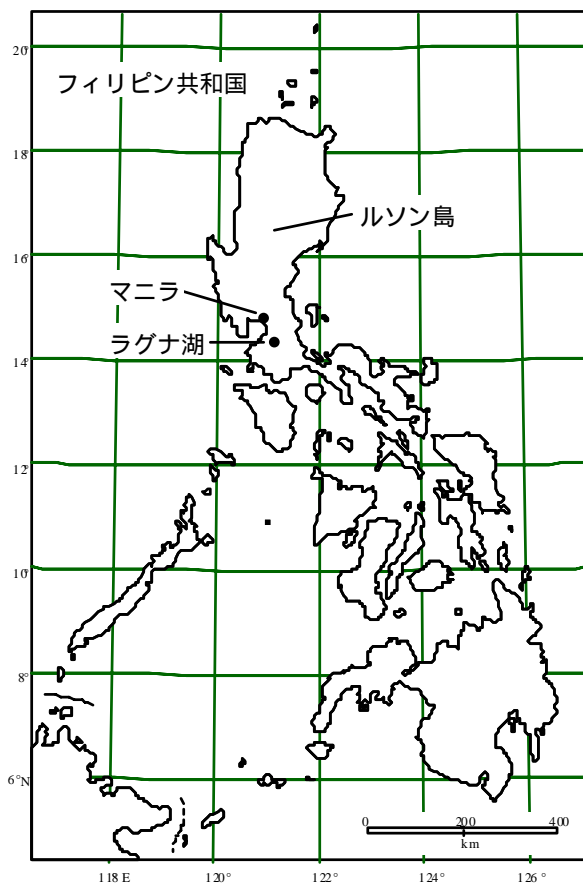


図4-7-1 ラグナ湖位置図

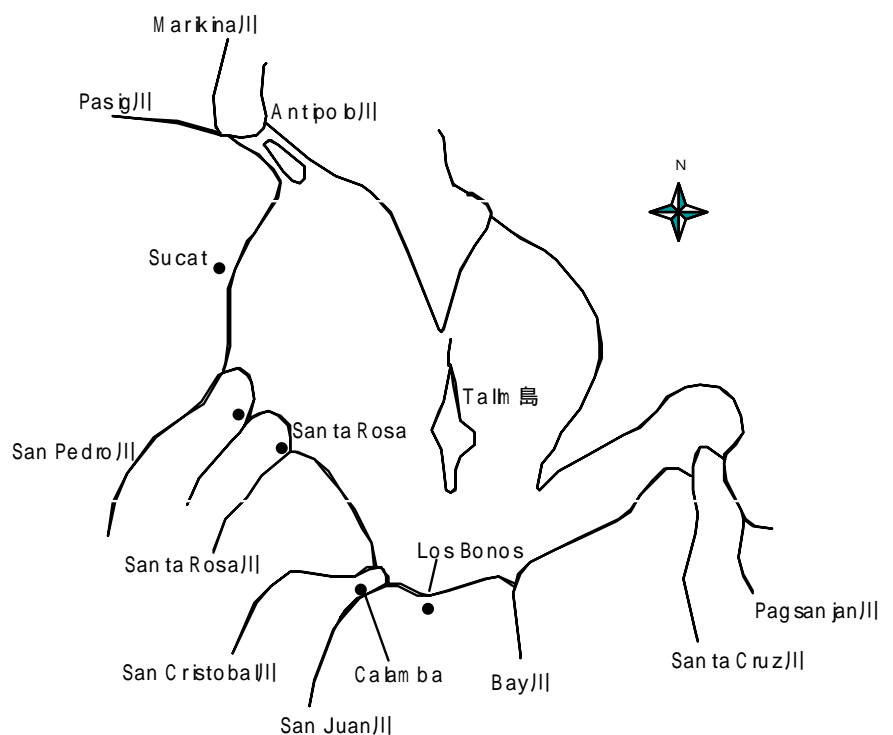


図4-7-2 ラグナ湖流域図

汚濁負荷は、主に食品工場排水と養豚場・屠殺場排水、染料・繊維排水、紙・パルプ排水である。また、ラグナ湖ではティラピア等の養殖事業が行われており、投餌飼料による汚濁も懸念されている。2000年における年間負荷は、推定値で生活系 61,200 トン、工場・事業場系 92,200 トンである。ラグナ湖流域には、1481 社が工場・事業場系の点源汚濁負荷として把握されており、このうち、695 社にのみ排水処理装置が敷設され、残る半数以上は未処理で放流されている。ラグナ湖への流入負荷量は全量で年間あたり窒素 3,942 トン、リン 942 トンと見積もられている。

ラグナ湖の水質は、COD_{Cr} : 5.3 ~ 32.7 mg · l⁻¹、硝酸性窒素濃度 : 0.02 ~ 0.4 mg · l⁻¹、溶存性リン酸性リン濃度 0.1 ~ 1.0 mg · l⁻¹、透視度 11 ~ 23cm である。5 月から 10 月まではラグナ湖流域の雨期にあたり、月間降水量が乾期に比較して 10 倍以上の 300 ~ 500mm に達する。このため水質も雨期に改善される傾向が認められる。また、台風など激しい風雨条件にさらされると湖水が激しく攪拌され底質の巻き上げが生じて湖水が茶色に変色する現象が例年認められている。こうした悪天候時には COD 値が約 50 mg · l⁻¹ と著しく高まり、透視度が 6cm と著しく低下することが確認されている。

4 - 7 - 3 対策の現状と今後のあり方

ラグナ湖への流入汚濁負荷削減は、国家天然資源省 (DENR : Department of Environment and Natural Resources) および DENR 配下のラグナ湖開発公社 (LLDA : Laguna Lake Development Authority) などが中心となってさまざまな規制や制度を制定している。ラグナ湖で特徴的な取り組みとしては、環境使用税の創設が挙げられる。本税制は、排水量に応じて税の支払いが課せられ、その金額は排水の生物化学的酸素要求量 (BOD) によって増額される制度である。本制度は現在約 1,400 施設に適用されており、違反して操業停止処分を受けた事例が 1998 年 ~ 2000 年に 31 件報告されている。本税制は、固定税と変動税の 2 種類から構成されている。固定税は日平均排水量が 150m³ 以上で 15,000 ペソ、同 31m³ 以上 150 m³ 未満ならば 10,000 ペソ、同 31m³ 未満ならば 5,000 ペソと規定されている。一方、変動税は、排水の BOD 値により、BOD50 mg · l⁻¹ 以下では 5 ペソ · kgBOD⁻¹、BOD50 mg · l⁻¹ を超える場合は 30 ペソ · kgBOD⁻¹ と規定され、年間 BOD 負荷量を BOD 平均濃度 (mg · l⁻¹) × 日平均排水量 (m³ · day⁻¹) × 300 × 10⁻³ として算出した従量制で算定される。前述の 300 は年間平均工場稼働日数の定数として用いられている。すなわち、日平均排水 BOD 値が 50mg · l⁻¹ を超過する場合には課税率が高まり、薄めた場合でも従量料金が課せられるため税総額を低減させることが困難な仕組みとなっている。このため、工場・事業場では可能な限り排水 BOD 濃度を低下させ、排水総量を減少させる努力が強いられる結果となっている。この排水の監視は DENR の地方事務所が担当しているが、検体数がラボの分析能力を超過しているのが現状である。このため数社の民間計量機関が計量業務の営業を始めている。ただし、現在これらの企業による測定値に公的な証明能力は付加されておらず、法的な効力はなく参考値にとどまっている。現在の環境使用税制は、第一段階で主に有機性排水に重点をおいたものであり、窒素・リンについては規制に盛り込まれていないのが現状である。本税制は第二段階として有害物質等を排出する企業排水への適用が考慮されており、さらに大気についても煤塵や NO_x に関する適用を目指している。今後は、ラグナ湖の富栄養化の防止を推進するため窒素・リンに着目した規制法の早期実現が必須の課題であると考えられる。同時に、本税制を厳格に適用するためモニタリング体制、特に分析計量に関する公的証明取得法を民間に開放するなどの施策が重要な位置づけになるものと考えられる。

ラグナ湖の集水域は 3,820km² と広大であり，かつ土地利用も 41%が林地など自然植生，52%が農耕地などある。このため林地などへの降雨が土壌浸透して伏流水としてラグナ湖に注ぐ比率が高いことが特徴である。このことは，降雨量とラグナ湖塩素イオン濃度との時差相関が約 3 ヶ月であることから裏付けられている。このような涵養能力は水資源確保の上から極めて重要である。今後，ラグナ湖の水は首都マニラへの上水源としても利用が見込まれ，流域住民に水資源の重要性を理解してもらう環境学習や企業への啓蒙活動も重要な位置づけになるものと考えられる。

4 - 8 イパカライ湖

4 - 8 - 1 流域・湖沼の特徴

イパカライ湖は，南米のパラグアイ共和国に位置し，首都アスンシオン市の中心部から東に約 30km の南緯 25 度 14 ~ 22 分，西経 57 度 17 ~ 22 分に位置している（図 4-8-1）。イパカライ湖は湖水表面積 5,960 万 m²，最大水深 3m，平均水深 2m，水面標高 64.1m，水容積 115,00 万 m³，湖岸長 40km，集水域面積 833km² の湖沼である。湖周囲は，約 65% が牧場などの農耕地，約 19% が自然植生の草原や湿地である。流域にはサンロレンツォ市，ルケ市，カピアタ市，サンベルナルディーノ市などの市街地があり，これらの市街地から生活雑排水の負荷が 20 の流入河川を通じて湖に入っている。主な流入河川は，図 4-8-2 に示すとおり，北から流入する Yuquery 川および南から流入する Pirayu 川である。イパカライ湖からは Salado 川が唯一の流出河川として存在し，パラグアイ川を経てラプラタ川を經由して南大西洋にそそいでいる。イパカライ湖北部の Salado 川流出部から Yuquery 川流入部の一帯は，広範囲に湿原となっており，Yuquery 川からの流入水は幾筋もの流れとなってイパカライ湖に注いでいる。



図4-8-1 イパカライ湖位置図

イパカライ湖流域の人口は，約 20.7 万人であり，人口密度は約 250 人・km² と低い。イパカライ湖は，主にレクリエーション用として活用されており，湖水浴場やホテル，別荘地などが整備され，週末や休暇の季節には湖東岸のサンベルナルディーノなどの人口密度が激増する。その他に，周辺の農牧地灌漑目的のほか，上水の取水源としても活用され，漁場として水産業にも資されている。

4 - 8 - 2 湖沼の現状

イパカライ湖は、水深が平均 2m と浅く、流域の汚濁負荷削減対策が進展しないため、近年著しい富栄養化が進展している。また、1999 年には降水量が著しく減少し、水位が平常より 1m 以上低下するという異常渇水に見舞われた。

このため、湖内の水深が平均 1m 以下にまで低下し、藍藻類アオコの異常増殖を招くなど危機的な状況に陥った。写真 4-8-1 は、イパカライ湖の湖岸に吹き寄せられた藍藻類アオコ (*Microcystis aeruginosa aeruginosa*) の様子を示したものである。吹き寄せられたアオコが腐敗して湖岸は悪臭に悩まされ多くの湖水浴場が閉店休業状態に追いやられ観光産業にも

大きな打撃となっている。特にイパカライ湖東岸に位置するサンベルナルディーノでは、上水源をイパカライ湖に頼っており、渇水と有毒物質産生藍藻類の異常増殖により大きな社会問題となっている。特にサンベルナルディーノは観光・避暑地として発達しており、夏期の渇水期の水需要が高まる特性を有している。しかし

ながら、下水道が敷設されておらず、生活雑排水が取水源であるイパカライ湖に垂れ流されているという根本的な問題を抱えている。

湖水は流域の土壌浸食により流入する土壌粒子により褐色に懸濁しており、透明度は 0.07~0.15m と著しく低く、懸濁物濃度(SS)が 70~80mg・⁻¹と著しく高いことが特徴である。湖面は土壌懸濁粒子で常時褐色に見えるため、肉眼では湖水中のアオコ群体の緑色を確認することは困難な状況である。しかしながら、

波浪などで吹き寄せられた部分には大量のアオコが集積しており、またプランクトンネットなどで湖水からプランクトン試料を採集すると常に著しい高密度のアオコを採集することができる。アオコ密度は、湖心部で *Microcystis aeruginosa aeruginosa*: 320,000cells・m⁻¹, *Anabaena spiroides*: 96,000cells・m⁻¹ など(2000 年 1 月)である。

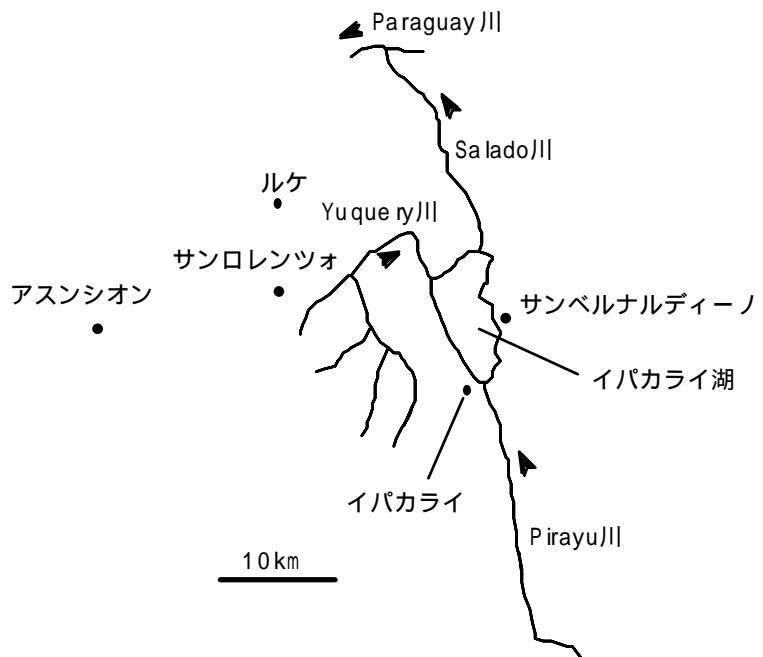


図4-8-2 イパカライ湖流域図



写真4-8-1 湖岸にアオコがうち寄せているイパカライ湖景観

イパカライ湖の水質は、CODcr : 10.3 ~ 15.7 mg · l⁻¹ , T-N : 0.58 ~ 0.89 mg · l⁻¹ , T-P : 0.15 ~ 0.30 mg · l⁻¹ と DO : 6.0 ~ 8.9 mg · l⁻¹ , pH : 6.0 ~ 8.7 である。窒素濃度に比較してリン濃度が著しく高く、窒素・リン比が 1.9 ~ 5.9 と極めて小さいことが特徴である。

イパカライ湖への流入汚濁負荷の約 48% は流域の都市・生活系排水である。また、流域内に位置する 80 以上の事業場からの産業系排水負荷が約 24% と見積もられ、屠殺・食肉加工業および皮革製造業が産業系由来の汚濁負荷の多くの割合を占めている。また、パラグアイ共和国は国土の大部分の森林を伐採しつくしており、原生林は壊滅状態である。イパカライ湖流域も例に漏れず流域内には林地がほとんど残存しておらず、牧畜用の草原や荒地に置き換わっている。このためこれらの土地からの土壌浸食を抑止できず、流域の面源負荷は CODcr : 9,800,000kg · 年⁻¹ , T-N : 370,000kg · 年⁻¹ , T-P : 94,000kg · 年⁻¹ に及んでいる。イパカライ湖に流入する土壤粒子分は SS として 20,000,000kg · 年⁻¹ に達し、非点源汚染源に対する方策が急務であることが明らかである。

4 - 8 - 3 対策の現状と今後のあり方

イパカライ湖の水質改善計画の策定に当たり、日本から 1988 ~ 1989 年にパラグアイ共和国大統領府企画庁を受け入れ機関としてイパカライ湖流域水質改善計画に関する開発調査が実施され、その後、1995 ~ 1998 年にパラグアイ共和国厚生省環境衛生局 (SENASA) を受け入れ機関とした個別専門家の技術協力がなされ、これを受けて 1998 ~ 2001 年には専門家チーム派遣が実施されてきている。これら一連の技術協力により、現在、イパカライ湖流域に対する水質改善計画をどのように策定し実施するかが検討されている段階である。イパカライ湖流域の 21 市町村で構成された CLYMA (Consejo de Municipalidades de la Cuenca del Lago Ypacarai) , さらにこれに 3 県を加えた CLYGMA (Consejo de Gobernaciones Municipalidades de la Cuenca del Lago Ypacarai) がイパカライ湖流域の水質環境改善を目的として 1999 年に発足した。これらの団体の活動を通じたイパカライ湖の水質改善が期待されている。実際の水質改善事業は、現在緒についたばかりであり、今後の本格的な事業計画および計画推進が待ち望まれているのが現状である。

現在、イパカライ湖流域外ではあるもののカアクペ (Caacupe) に下水道が整備され、近年ではイパカライ湖流域内のイタグア (Itagua) , カピアタ (Capiata) , イパカライ (Ypacarai) などの都市にも下水道設置の構想ができています。これらの構想の実現によりイパカライ湖への未処理流入汚濁負荷が削減され抜本的な浄化対策につながるものと期待されている。しかしながら、イパカライ湖流域に早急な下水道整備などの抜本的な対策を早期に構築完了することは困難である。また、大きな負荷源となっている非点源汚濁負荷に対しては下水道の整備だけでは不十分であることは明らかである。そこで、写真 4-8-2



写真 4-8-2 湖北岸に広がる広大な湿地景観

抜本的な対策を早期に構築完了することは困難である。また、大きな負荷源となっている非点源汚濁負荷に対しては下水道の整備だけでは不十分であることは明らかである。そこで、写真 4-8-2

に示すような湖北岸に広がる広大な湿地を活用した環境生態工学の活用が大きな効果を発揮するものと考えられる。Yuquery 川の流路が本地域にかかっていることから、同河川の汚濁負荷を水生植物の活用で大きく削減可能であると考えられる。

また、流域市民の環境モラルはいまだ十分に高いレベルに達していないのが現状であり、環境啓発活動・環境教育活動が本格的に実施されれば、流域内に居住する市民のイパカライ湖水質汚濁への感心が高まり、ゴミの不法投棄などの負荷が大きく削減されるものと期待されている。

(千葉中央博物館：林紀男)