

厄介者を救世主に

～富栄養化池沼の肥料化研究～



FLORA HUNTERS AQUA

松坂泰誠、夏堀竜之介

1 研究の背景

世界最大の窒素肥料輸出国であるロシアがウクライナと国際紛争を起こしたことなどが原因で2022年の世界の肥料原料価格は、前年に比べ60~70%も上昇したと世界銀行が発表している。肥料は食糧増産に欠かせない資材であるため、8億人以上が飢餓に直面しているアフリカはもちろん、たくさんの開発途上国では深刻な食糧問題を悪化させる原因となっている。

これとは別に途上国では農業で用いた化学肥料などが流れ込み、過剰に栄養分が増えた富栄養化池沼が多く発生している(図1)。しかし栄養分は植物にとっては肥料である。そこで私たちは、富栄養化池沼を肥料として利用できないか調査した。その結果、印旛沼や小川原湖姉沼など日本に多い低濃度富栄養化池沼とインドのナニタール湖やビムタム湖など海外に多い高濃度富栄養化池沼とも液体肥料にするには栄養分の濃度が低いことがわかった(表1)。



図1 富栄養化池沼

表1 日本及び途上国のモデル湖のアンモニア及びリン酸塩濃度

項目	低濃度富栄養化池沼	高濃度富栄養化池沼
NH ₄ -N (mg/L)	2.6~2.9	23~24.6
PO ₄ -P (mg/L)	0.06~0.165	0.23~0.35

そこで私たちはできるだけエネルギーを使わない方法で富栄養化池沼の濃縮化を目指すことにした。私たちが着目したのは、昭和まで使われていた枝条架式の製塩装置。この技術を応用し、太陽と風による水分蒸発だけで富栄養化水を濃縮し肥料化するシステム開発に取り組むことにした。

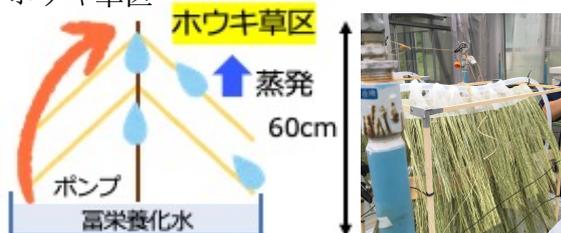


図2 枝条架式製塩装置

2 方法

開発したのは富栄養化水をホウキ草の枝に上からポンプで散布するホウキ草区、すだれにミスト装置で下から噴霧する竹すだれ区、自然蒸発で濃縮する木綿紐区と木綿布区の4種類である(図3)。

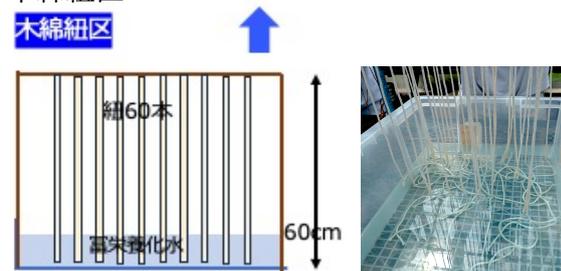
A ホウキ草区



B 竹すだれ区



C 木綿紐区



D 木綿布区

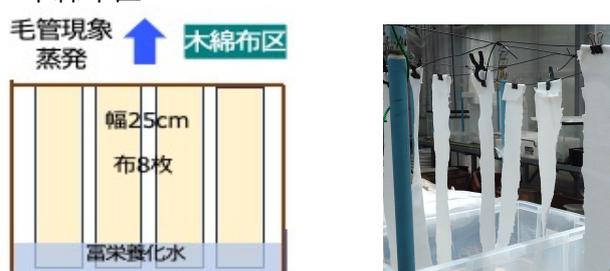


図3 自作濃縮装置 (Aはポンプ装置、Bはミスト装置を使用、CとDは太陽エネルギーだけ)

なお木綿紐区は3mm角の紐60本、木綿布区は幅25cmの布8枚を富栄養化水に浸漬し、毛管現象で自然蒸発させる仕組みである。また富栄養化水は15Lで、実際の富栄養化池沼のデータを参考に液肥ハイポネックス6-10-5を使って再現した。その水質データは表2に示した。なおホウキ草区がかつての枝条架式製塩法で、その他の区は私たちが考案したオリジナルである(図4)。

表2 再現した富栄養化水の水質データ

項目	低濃度富栄養化水	高濃度富栄養化水
pH	7.1	7.1
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	402	1,001
NH ₄ -N (mg/L)	13	18.48
NO ₃ -N (mg/L)	4.4	8.48
PO ₄ -P (mg/L)	1.46	1.52
TH 全硬度 (mg/L)	40	45

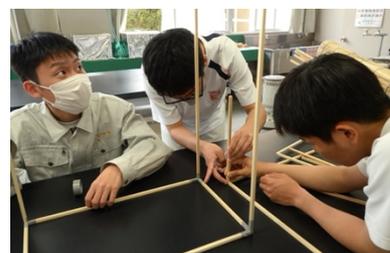


図4 製作の様子

3 結果と考察

(1) 蒸発量比較試験

各装置の3日間の蒸発量を測定してみた(図5)。その結果、富栄養化水だけを容器に入れたControlが1L蒸発したのに対して、濃縮を促す仕組みを施した区は、いずれも7Lと7倍の蒸発力があった。またポンプやミスト発生装置を用いるホウキ草区と竹すだれ区が、コンスタントに蒸発するのに対して、木綿紐や布を垂らした区は、その日の気温に左右されることがわかった。

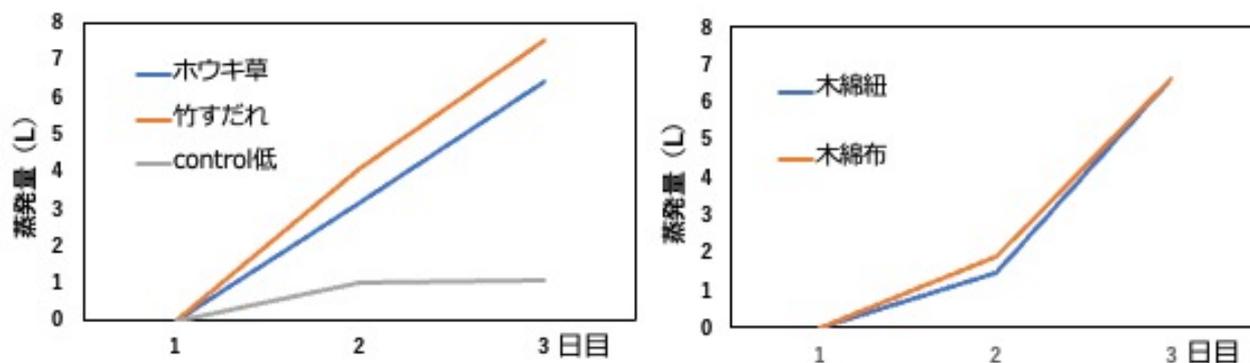
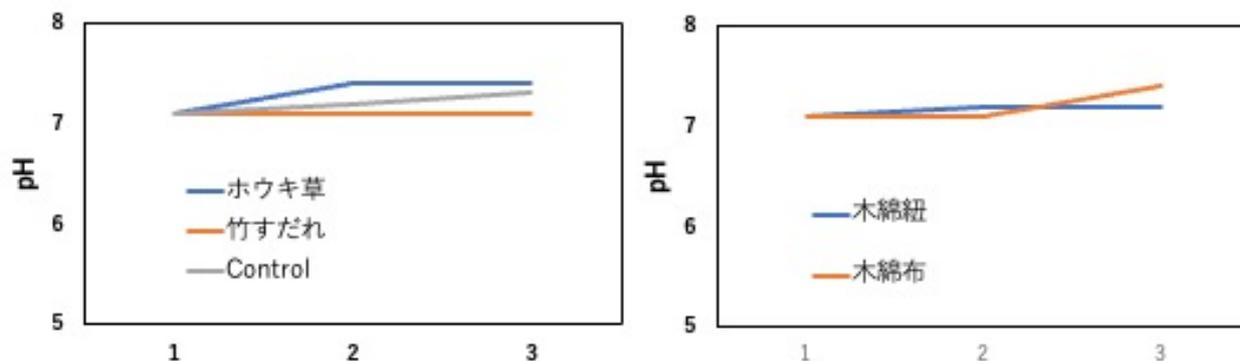


図5 装置による蒸発量比較

(2) 蒸発に伴う3日間の成分変化(低濃度富栄養化水の場合)

3日間の蒸発に伴って水質がどのように変化するか分析した(図6)。なお紙面の関係上、低濃度の結果だけを掲載している。分析は共立理化学研究所製のDPM-MTで行った。



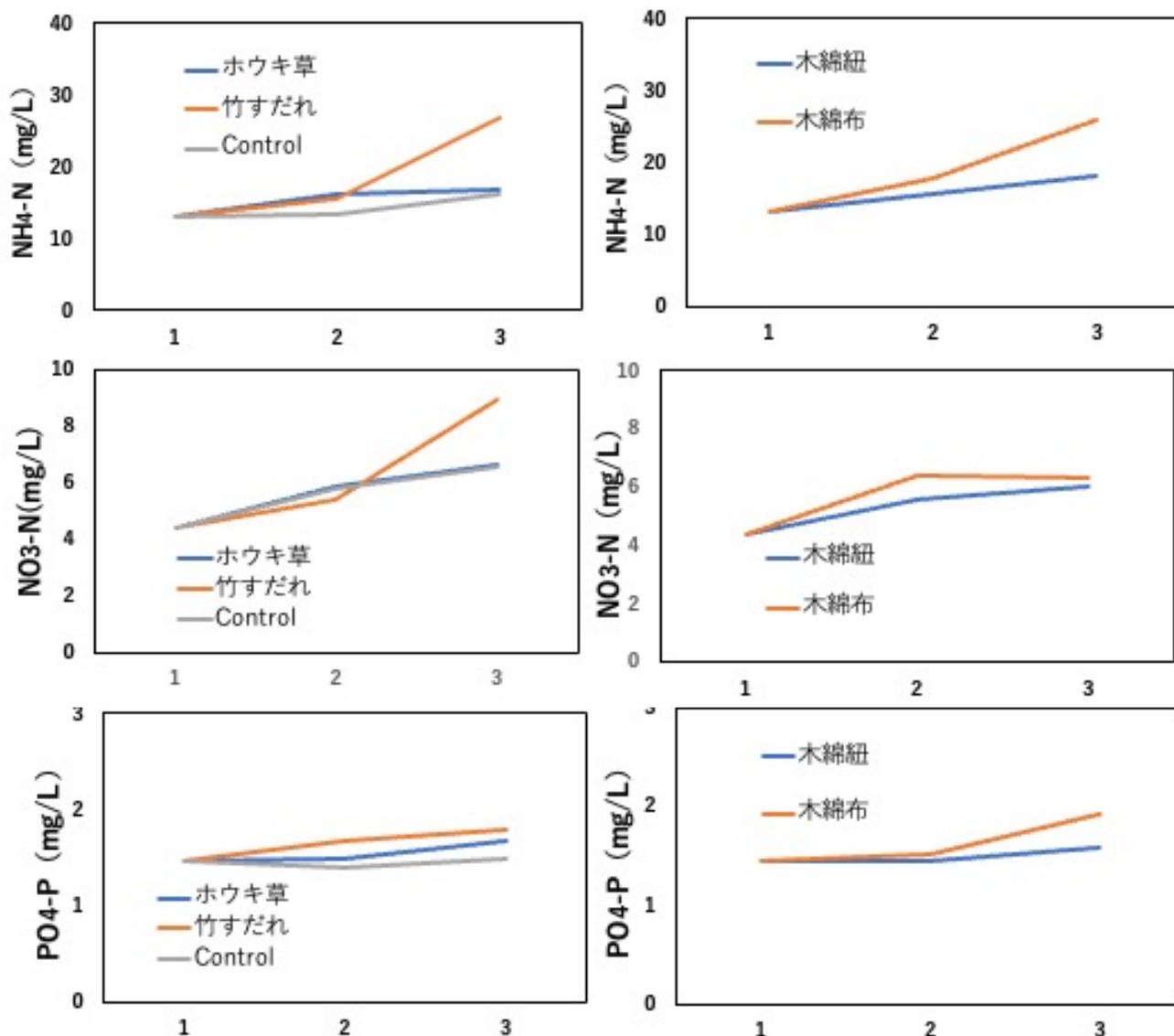
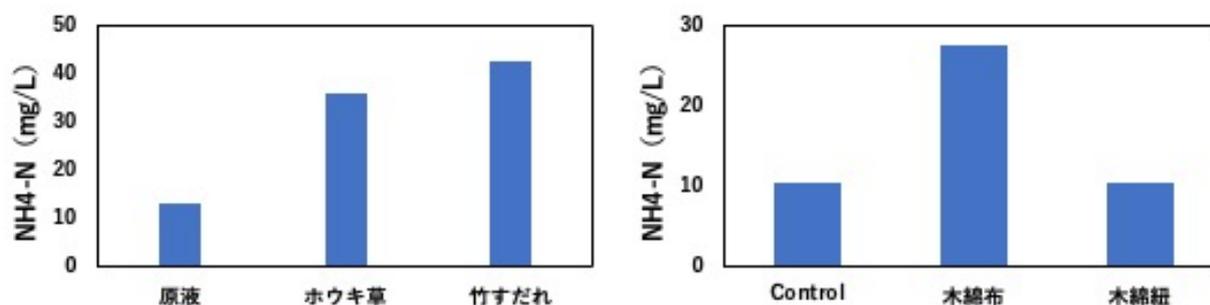


図6 蒸発に伴う3日間の成分変化（横軸の単位は day）

実験の結果、徐々に濃度が高まっていることがわかる。しかし pH はほぼ変化しなかった。濃縮効率は竹すだれ区、ホウキ草区、木綿布区で良いことがわかる。特に竹すだれ区が優れていた。また無電源でも表面積が大きい木綿布は高い濃縮率を示した。これは蒸発量と同じで、濃縮するにはいかに効率よく蒸発させるかが重要であるかがわかった。

(3) 継ぎ足しによる実用化試験（低濃度富栄養化水の場合）

途上国でこの装置を用いる場合、短期間で効率よく濃縮することが重要である。そのためある一定量蒸発するたびに富栄養化水を継ぎ足し、濃度を高めていくことになる。そこで実際に実用化試験を行った（図7）。濃縮期間は11日とした。なお富栄養化水の補充は蒸発力が高い竹すだれ区が11日間で6L、ホウキ草区・木綿紐区、木綿布区は3L、Controlは蒸発が少なく無補充となった。



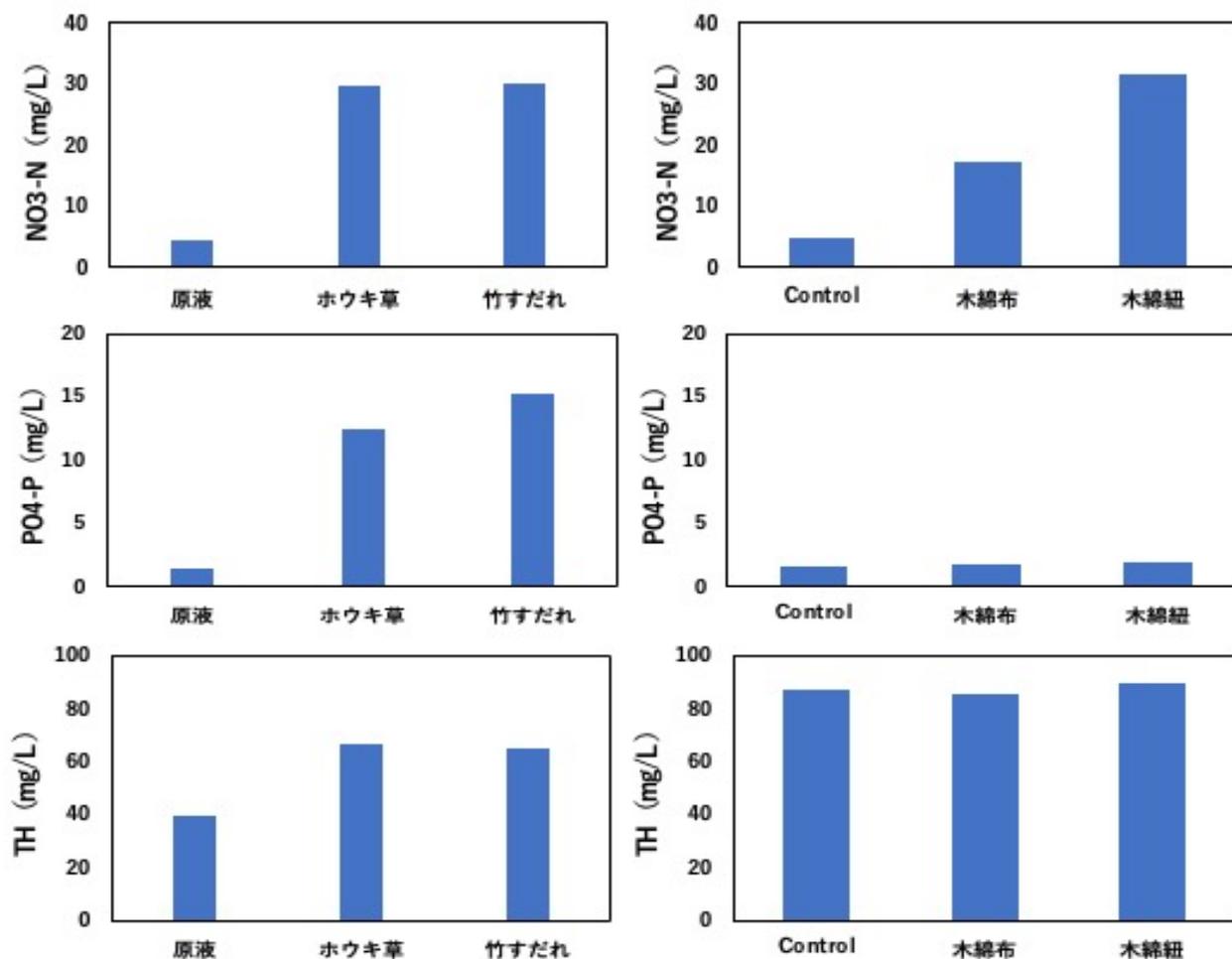


図7 継ぎ足しによる実用化試験

どの区も濃縮開始の原液より継ぎ足したこともあり、11日間で濃縮されているのがわかる。特に装置を用いる竹すだれ区、ホウキ草区はアンモニア態窒素で4～5倍、リン酸態リンでは約6倍も濃縮されている。また木綿紐区、布区も蒸発させる仕掛けのないControlより濃縮されていた。

(4) 濃縮の総合評価

実験前に私たちが考えていたとおり「蒸発力＝濃縮力」となった。竹すだれ区はホウキ草区よりも効率よく濃縮できた。ホウキ草区は富栄養化水をポンプで屋根状の枝に水滴を垂らすのだが、竹すだれ区はもっと小さなミストで噴霧する。一般的な水滴のサイズは約1mmだが、私たちの使ったミストの粒径は0.01～0.1mmと極小のため、すぐに気化して濃縮が進んだと考えられる。また無電源装置では木綿布区の濃縮力が高かった。これは紐に対して薄い生地の方が空気に触れる表面積が広いからだと思われる。この実験は6～7月に行ったが、気温の高い途上国ではより蒸発するのでより効果的だと考えられる。表3は高濃度富栄養化水を竹すだれ区で継ぎ足し濃縮後、消毒も

表3 高濃度富栄養化水を用いた液肥製造過程の成分変化

項目	原液 (高濃度富栄養化水)	竹すだれ継ぎ足し濃縮後	1/2 煮沸後
pH	7.1	6.9	6.5
EC (μ S/cm)	1,001	1,909	3,848
NH ₄ -N (mg/L)	18.56	45.28	60.8
NO ₃ -N (mg/L)	8.48	19.84	61.44
PO ₄ -P (mg/L)	1.52	1.72	2.04
TH (mg/L)	45	52	91

兼ねて 1/2 になるまで煮沸して製造した液肥の成分変化である。完成に 2 週間要したが、竹すだれ継ぎ足し濃縮後は、ハイポネックス 6-10-5 の 1500 倍液相当、煮沸後は 500 倍液相当となった。なお濃縮に用いた消費電力は当然木綿紐と布ではゼロだが、1 日あたりのミスト（竹すだれ区）で 200wh、ポンプ（ホウキ草区）で 9 wh となる。しかし途上国の乾季に太陽光発電を行えば十分実用化可能だと考えられる。

(5) 栽培試験

低濃度富栄養化水の竹すだれ継ぎ足し濃縮で製造した液肥でトウモロコシの育苗を 3 週間行った（図 8）。自作液肥成分は表 4 に示す。栽培試験の結果、草丈、葉色値（図 9）から判断しても、低濃度の富栄養化水であっても明らかに肥料効果が見られた。

表 4 低濃度富栄養化水から自作した液肥

項目	竹すだれ継ぎ足し濃縮法
pH	7.0
EC (μ S/cm)	3,922
NH ₄ -N (mg/L)	42.4
NO ₃ -N (mg/L)	30.3
PO ₄ -P (mg/L)	1.52



図 8 トウモロコシ（左：無肥料 右：自作液肥）

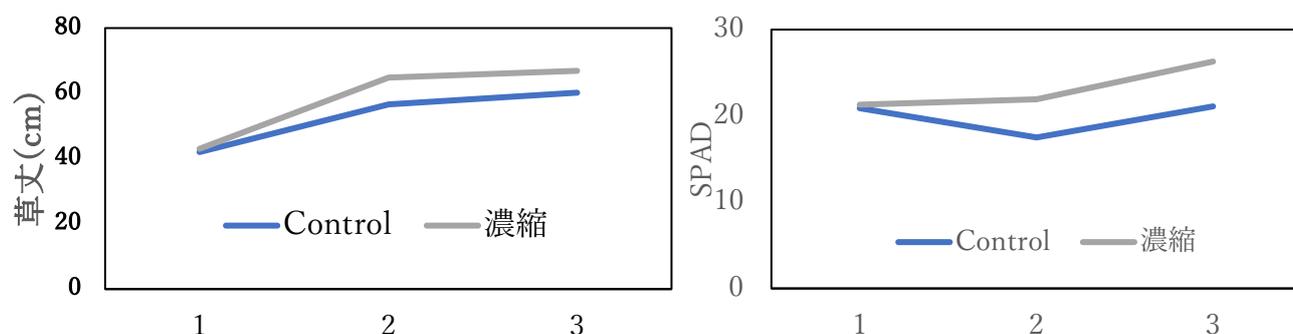


図 9 竹すだれ継ぎ足し濃縮法で製作した液肥を用いた草丈と葉色値の比較（横軸単位：週）

4 結論

途上国に多い富栄養化池沼は肥料や家畜排水などが原因である。放置すると藻類が発生し排出する毒性のあるマイクロシスチンによるブルーベビー症候群の原因となる。これは世界の農村部で約 7% が死亡する大きな問題である。本研究はこの厄介者であるたくさんの富栄養化池沼（表 5）を暮らすうえで欠かせない肥料資源に変換しようとして取り組んだものである。また開発にあたっては温暖化を考慮し、古来の枝条架製塩法を参考に自然エネルギーもしくは消費電力の少ない小型装置を用いて蒸発濃縮する工夫をした。実験は青森で行ったが十分な結果が得られた。熱帯、亜熱帯の途上国では太陽光発電などと組み合わせると低コストで大量の液体肥料を製造できると考えられる。毒性のない富栄養化池沼が条件だが、低コストで簡易な技術は国際紛争やエネルギー資源の高騰により約 2 倍に値上がりしている肥料対策となり、特に食糧問題を抱えている途上国にとって有意義である。また過剰栄養分を定期的に回収することで藻類の発生を抑制し、農村の持続的暮らしと健康維持にも繋がる。現在、世界への情報発信の準備中だが SDGs 達成に貢献できると確信している。

表 5 湖沼における富栄養化湖沼の割合 (%)

Area	Eutrophic lakes (as a percentage of total)
Asia/Pacific	54
China	70
Europe	53
North America	48
South America	41
Africa	(28)
South Africa (this report)	28 (- 60)