The characteristics of Lake Tonle Sap in Cambodia based on changes in conductivity

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Okumura, Yasuaki, Tsukawaki, Shinji, Endoh, Shuichi, Oyagi, Hideo, 塚脇, 真二 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00029270

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

陸水学雑誌 (*Japanese Journal of Limnology*)68: 51- 57(2007)

資 料 〔Limnological Record〕

カンボジア・トンレサップ湖の電気伝導度の変化について

奥村康昭[1]・塚脇真二[2]・遠藤修一[3]・大八木英夫[4]

The characteristics of Lake Tonle Sap in Cambodia based on changes in conductivity

OKUMURA Yasuaki[1], TSUKAWAKI Shinji[2], ENDOH Shuichi[3] and OYAGI Hideo[4]

Abstract

Lake Tonle Sap in Cambodia is the largest freshwater lake in Southeast Asia, covering an area of about 2,500 km^2 in the dry season and 12,500 km^2 in the monsoon season. Due to such a unique seasonal change in hydrological phenomena related to the Mekong River system, the lake's water quality must change dramatically. As there is a lack of basic data on the water quality and hydrological phenomena of Lake Tonle Sap, we launched a limnological research survey.

This paper deals with the characteristics of the lake based on conductivity changes. Between the monsoon dry seasons, conductivity and water depth in the lake shore changed dramatically. Both were low in the dry season when the water depth was 0.5 m and the conductivity was 40 $\mu S\ cm^{-1}$, and they were both high in the monsoon season, at 8 m and 120 $\mu S\ cm^{-1}$, respectively. However, the conductivity offshore was high at an approximately constant rate throughout the year at around 100 ～ 120 $\mu S\ cm^{-1}$. This is because the waters that flow back from the Mekong River in the monsoon season remain in the offshore area. Conductivity decreases in the lake shore area in the dry season, which causes a low level of conductivity water to flow in from surrounding regions of the lake. It is the influence of the water flowing back from the Mekong River that increases the conductivity in the lake shore region during the monsoon season.

Key words：Canbodia, Lake Tonle Sap, Conductivity, The multi-parameter water quality profiler

摘　要

カンボジアにあるトンレサップ湖は東南アジアで最大の面積を占める淡水湖であり，乾季の面積は 2,500 km^2 であるが，それに対して雨季には 12,500 km^2 にもなる。この変化は，雨季にメコン河の水がトンレサップ河を通じて逆流することによって生じ，メコン河の水理特性と密接に関係していて，湖の水質に大きな影響を与えている。しかし，この湖の陸水学的特徴や水質に付いての基礎的なデータはほとんどない。この湖の陸水学的な調査は，最近始まったばかりである。

この論文では，電気伝導度の変化に基づいてこの湖の特徴を述べている。湖岸の電気伝導度と水深は，乾季には 0.5 m と 40 $\mu S\ cm^{-1}$ 位であり，雨季には 8 m と 120 $\mu S\ cm^{-1}$ 位である。つまり，乾季にはどち

[1] 大阪電気通信大学工学部数理科学研究センター 〒572-8530　寝屋川市初町 18-8
Research Center for Physics and Mathematics, Osaka Electro-Communication University,Neyagawa, Osaka, 572-8530, Japan
(E-mail：okumura@isc.osakac.ac.jp)
[2] 金沢大学自然計測応用研究センター 〒920-1192　金沢市角間町
Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Kanazawa, Ishikawa, 920-1192, Japan
[3] 滋賀大学教育学部地学教室　〒520-0862　大津市平津 2-5-1
Faculty of Education, Shiga University, Otsu, Shiga, 520-0862, Japan
[4] 日本大学大学院基礎科学研究科地球情報数理科学専攻 〒156-8550 東京都世田谷区桜上水 3-25-40
Graduate School of Integrated Basic Sciences, Hihon University, Setagaya, Tokyo, 156-8550, Japan

らも大きく，雨季には小さくなる。しかし，沖合の電気伝導度は，年間を通じて 100 ～ 120 μS cm^{-1} で，ほぼ一定の大きな値を示す。これは，雨季にメコン川から逆流して来た水が，乾季にも沖に滞留しているからであろうと思われる。シェムリアプ川の河口近くで乾季に伝導度が小さくなるのは，川から電気伝導度の小さい水が流入するためであり，雨季に電気伝導度が大きくなるのはメコン川から逆流してきた水の影響である。

キーワード：カンボジア，トンレサップ湖，電気伝導度，多項目水質プロファイラー

(2006 年 4 月 30 日受付；2006 年 12 月 5 日受理)

はじめに

カンボジアにあるトンレサップ湖は東南アジア最大の淡水湖である。季節によって湖の表面積や水深が大きく変化し，乾季の表面積が約 2,500 km^2 に対して，雨季の表面積は約 12,500 km^2 であり，雨季は乾季の 5 倍にもなる。この変化は，雨季にメコン河の水がトンレサップ河を通じて逆流することによって生じ，メコン河の水理特性と密接に関係していて，湖の水質に大きな影響を与えている。また，世界でも類を見ないほどの多種多様な生物相を呈することでも知られている。

この湖の学術的な調査は 1970 年代までは，わずかながらも行われていた（Mitsushio et al., 1970）が，70 年代以降の内戦により途絶え，それまでに収集されていたデータも散逸した。内戦が収まった 1990 年代以降，日本を含む国際的な学術調査が再び行われるようになってきた（例えば，ラオ，1992 やトンレサップ湖総合学術調査提言委員会，2002）。筆者らはこの湖における生物多様性維持機構の評価の研究の一環として，湖の特性を明らかにするために水深や水温，電気伝導度，pH，溶存酸素量などの観測を行った。本格的な調査は始まったばかりであるが，この論文では，主として電気伝導度を指標として，トンレサップ湖の水質変化について述べている。

観　測

調査はシェムリアプ市に近いトンレサップ湖の北部を中心に行った。湖の調査を行ったのは乾季に水がある範囲だけである。雨季に浸水林になる部分は船で入るのが困難であり，測器が水没している樹木に絡まる可能性があるので行っていない。調査を行ったのは 2003 年 11 月，

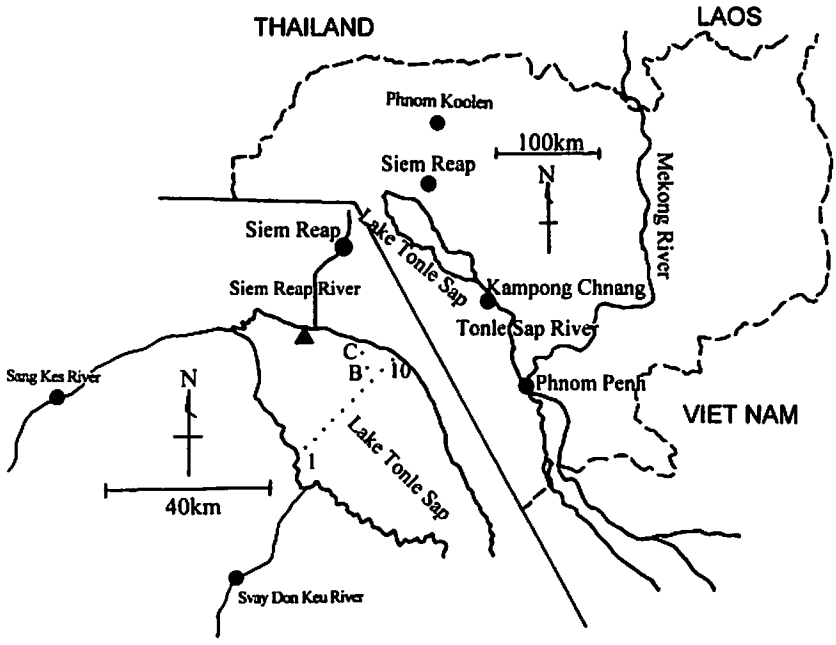

Fig. 1. Map of observation sites, (·): transverse observation site; (▲): fixed station observation site.
図 1.　観測点の地図，(·) は横断観測地点，(▲) は定点観測地点．

Table 1. Specifications of multi-parameter water quality profiler.
表 1. 多項目水質計の仕様.

Parameter	Sensor Type	Measunerement range	Resolution	Accuracy	Time constant
Depth	Semiconductor Presure Transducer	0 ～ 100 m	0.002 m	0.3 % FS	0.2 sec
Temperature	Thermistor	-5 ～ 40 ℃	± 0.001℃	± 0.02℃	0.28 sec
Conductivity	Inductive Cell	0 ～ 500 μScm^{-1}	0.1 μScm^{-1}	± 20 μScm^{-1}	0.2 sec
Turbidity	Backscattering Light(Fornazine)	0 ～ 1000 FTU	0.03 FTU	± 2 % FS	0.2 sec
Chlorophyll	Fluonescent Scattering Light(Uranine)	0 ～ 400 ppb	0.01 ppb	± 1 % FS	0.2 sec
DO	Galvamic Electrode	0 ～ 20 mgL^{-1}	0.01 mgL^{-1}	± 0.2 mgL^{-1}	3.5 sec
		(0 ～ 200 %)	(0.01 %)	(± 1 %)	
pH	Glass Electrode	0 ～ 14 pH	0.01 pH	± 0.2	10 sec

2004 年 5 月，11 月，2005 年 5 月 の 計 4 回（Oyagi et. al., 2005）である。各回の調査は 2 週間程度であったが，毎回横断観測を実施して水深や水温，電気伝導度，pH，溶存酸素量，透明度などの分布や変化を調べた。横断観測の観測点とその他の観測点の位置を Fig.1 に示す。横断観測の測線は南西側を St.1 として，北東方向へ順に 10 個の観測点を定めた。横断観測は現地の観光船を借り上げて行ったが，船速の関係からこの観測を一回実施するのに 1 日間必要である。一回の調査期間中に実施する横断観測は一回だけである。

調査期日の 11 月と 5 月は湖の特徴を最も良くとらえることが出来ると思われる。11 月は乾季の始まりで最高水位にあることが，5 月は雨季の始まりで最低水位であることが多い。5 月には漁業規制のため，2003 年 11 月に設定した北東岸の測点に近づくことが出来なかった。そのため，2004 年は St.9 と 10 の測点が最初に定めた測線から北北西へずれたので，その点を B,C とした。また，2005 年は St.9 までである。

横断観測に使用した計測器は，多項目水質プロファイラー（アレック電子(株) クロロテック AAQ1183）であり，水深・水温・電気伝導度・溶存酸素量（DO）・pH・濁度・クロロフィル濃度の測定が可能である。センサー部の質量は約 2.5kg，長さ約 30 cm，直径約 9 cm と小型軽量である。プロファイラーのセンサーの精度等を Table 1 に示す。プロファイラーは一定時間（1 秒間に 4 ～ 5 回）ごとにデータを取得するので，センサー部の降下速度によってデータ取得の水深が変化する。有線式であるので計算機の画面を見ながら約 0.01 m 刻みになるようにセンサーを降下させて，0.1 m 間隔に補間している。

また，シェムリアプ市の近くの湖岸に定点（Fig. 1 の▲印）を定め，横断観測を行った調査時以外にも，他の目的で同地を訪れる度に水深・水温・電気伝導度・pH・溶存酸素量（DO）の観測を行った。この湖は季節によって，その表面積を大きく変化させるが，観測地点は，乾季に湖が最も小さくなる時の湖岸近くである。観測に使用した機器は携帯型の溶存酸素計（Horiba ES-14）と電気伝導度計（Horiba OM-12），pH 計（Horiba B212）である。

観測結果とその検討

横断観測

Fig.2 は横断観測で求めた電気伝導度の断面内の分布である。この図から鉛直方向には，ほぼ一様であることが分かる。ただし，Fig.2 の一番上の図（2003 年 11 月）には鉛直方向に細かい変化が見られるが，この時は電気伝導度センサーの校正が海洋用になっていたためであり，データの精度が悪く，鉛直方向の細かい変化に意味はない。

浅い熱帯湖では，年間を通じて殆ど成層をせず，日中の加熱によって成層が形成されたとしても，夜間の冷却や風浪によって破壊されるので，鉛直方向には一様になる。このことは Fig.3 に示す横断面内の水温分布図で，水温が上下に殆ど差がないことからも分かる。Fig.3 では，南西岸（St.1）と比較して北東岸（St.10）の水温が少しではあるが高くなっている。これは観測が南西岸から北東岸に向かって行われ，移動の間に日射によって水温が上昇したことによる。横断観測に必要な時間は船によって異なるが，最も早い場合で 3 時間半である。

電気伝導度の分布は鉛直方向に比べて横断方向には，明確な差が見られ，湖の中心部が湖岸より値が大きい傾向がある。水位の高い雨季でも，水位の低い乾季でも同じであるが，乾季の方がより顕著である。これは，湖の周辺水域から湖へ流入する水の影響が現れているためではないかと考えられる。

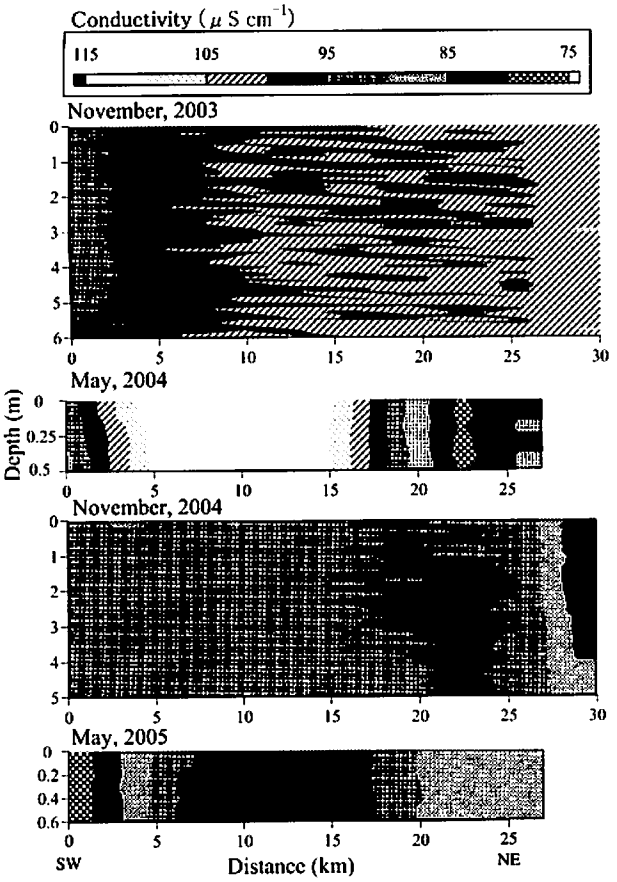

Fig. 2. Cross sectional distribution of conductivity along transverse line in Fig. 1.

図 2.　横断観測線に沿った鉛直面内における電気伝導度の分布．

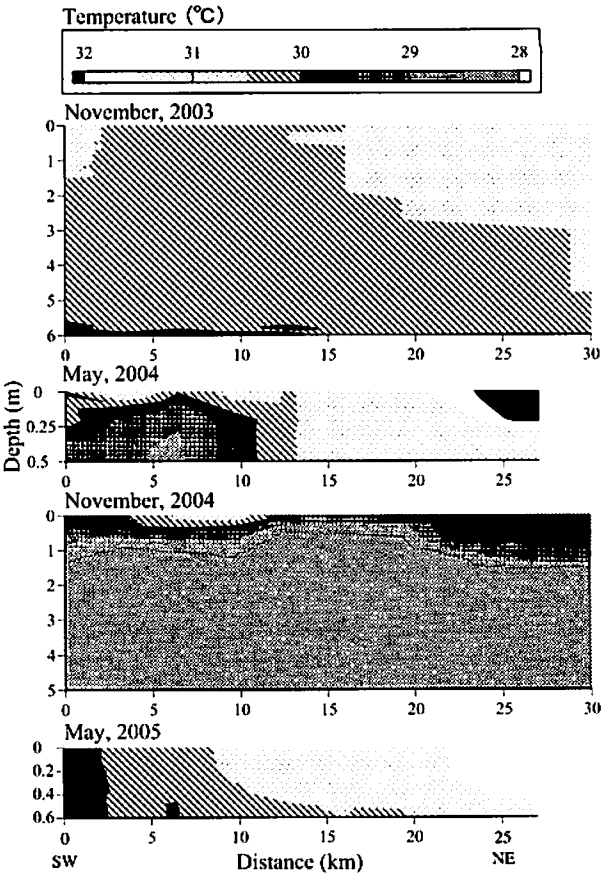

Fig. 3. Cross sectional distribution of temperature along transverse line in Fig. 1.

図 3.　横断観測線に沿った鉛直面内における水温の分布．

例えば，湖に流入するシェムリアプ川やシェムリアプ市周辺水域の電気伝導度の値は Table 2 に示すように，トンレサップ湖やトンレサップ河の電気伝導度と比較してかなり低い。Table 2 は 2000 年 8 月のデータである。Table 2 の上 2 行がトンレサップ湖の表層と底層（水深 7 m），3 行目はシェムリアプ川，4 行目のプノンクーレンはシェムリアプ市から北北東へ直線距離で約 40 km にある山地でシェムリアプ川の上流である。5 行目はメコン河との合流点におけるトンレサップ河，6 行目はトンレサップ湖を出た直後のトンレサップ河で，一番下は琵琶湖の夏の表層の値であり，参考として載せてある。シェムリアプ市周辺水域以外の水域の電気伝導度のデータはほとんどない。我々のグループの一員が観測をした，湖の南西岸に流入する河川の電気伝導度のデータを Table 3 に示す。観測地点は Fig.1 に示してあるがシェムリアプ川を除いて観測回数は少ないし，国道沿いの橋梁近くで行われのので，湖からはかなり離れている。この表を見れば，雨季（2005 年 8 月）のサン・ケス川の電気伝導度は大きくても 50 μS cm^{-1} 位であるが，スヴァイ・ドン・ケフ川では流れはなかった。また，乾季（2005 年 3 月）のサン・ケス川の電気伝導度は大きくなっているが，スヴァイ・ドン・ケフ川では 40 μS cm^{-1} と小さい。これらは，非常に限られたデータであり，河川流量のデータはない。シェムリアプ川を除いて観測回数も少なく詳細な季節変化は不明であり，これらのデータが各河川の特徴をどの程度とらえているか，観測回数が少ないので，現在のところ不明である。

雨季の湖水は，トンレサップ河を通じて逆流してきたメコン河の水が大部分であり，乾季になると，湖水はトンレサップ河を通じて流出していき，水位が下がる。それと共に湖に流入する河川からの水が優勢になるはずであるが，Fi g．4 に示すように，乾季には降水はない。Fig.4 はシェムリアプ市に設置した雨量計の 2003 年 11 月から 2004 年 12 月のデータ（Okumura et. al., 2005）で

Table 2. Conductivity, temperature, and pH of Lake Tonle Sap and surrounding areas. Table shows Lake Biwa, which is not really a surrounding area.
表 2. トンレサップ湖と周辺水域の電気伝導度と水温，pH の値．参考としてびわ湖の値を示してある．

No	Observation Site	Conductivity (μScm^{-1})	Temperature (℃)	pH
1	Lake Surface	101	27.6	7.5
2	Lake Bottom (7m)	102	27.5	8.5
3	Siem Reap River	20	27.3	7.1
4	Phnom Koolen (mountain stream)	8	24.6	6.0
5	Tonle Sap River	90	26.5	8.0
6	Kompong Chunang	104	28.0	6.8
cf	Lake Biwa (Japan) summer	110	28.5	8.5

Table 3. Conductivity of river surrounding Lake Tonle Sap.
表 3. トンレサップ湖の周りの河川の電気伝導度．

No	Observation Site	Dec., 2004	Mar., 2005	May., 2005	Aug., 2005	Dec., 2005	Mar., 2006
1	Siem Reap River	12.7		44.3	12.9	22.2	24.0
2	Sang Kes River		245.0		49.9		
3	Svay Don Keu River		40.5		no water		

μScm^{-1}

あり，乾季に降水はなく，熱帯地方の特徴をよく表している。

Fig.3 の乾季の電気伝導度の分布から，湖の中心部には電気伝導度の値が高いメコン河の水が残り，湖岸近くでは雨季に流入した電気伝導度の低い河川からの水が広がっていくのではないかと推測されるが，データが少ないので詳細は不明である。乾季ほど顕著ではないが，雨季でも湖岸の方が，湖の中心部より電気伝導度の値は低くなっている。これも，湖へ流入する湖周辺からの水の影響であると思われる。

定点における連続観測

観測は表層で行ったが，前節で述べた理由により底層までほぼ同じ値であったと考えて良い。水深と電気伝導度の 2001 年から 2004 年の間の変化を Fig.5 に示す。観測は等間隔ではないが，年数回の観測を行うことが出来，うまく乾季と雨季の差を捕らえることが出来た。

太い線が電気伝導度で，細い線が水深の変化を示している。水深と電気伝導度は 2003 年 5 月を除けば良い対応関係がある。水深が浅くなれば，つまり乾季には電気伝導度は小さくなり，水深が深くなる雨季には大きくなる。このことは，定点観測を行った地点では，乾季と雨季で水質が大きく変化することを示している。

しかし，2003 年 5 月だけは水深が浅いにもかかわらず，電気伝導度が大きくなっている。詳細なデータはないが，トンレサップ湖で湖上生活をする住民の生活パター

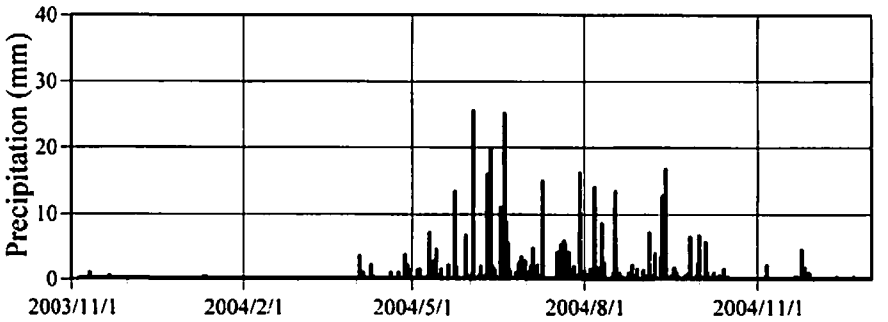

Fig. 4. Time variations in precipitation at Siem Reap.
図 4. シェムリアプにおける降水量の年変化．

ンが関係しているのではないかと思われる。湖上生活者は，生活用水も排水もトンレサップ湖に依存している。そして，彼らは水位の変化に合わせて居住地をかえ，乾季に湖が小さくなると，沖の方へ進出する。2003年は水位の低下が例年より大きく，いつもの年よりも沖の調査定点の近くまで進出していた。この湖上生活者の影響がデータに表われたのではないかと思われる。

電気伝導度の最小値は約40 μS cm^{-1}であり，最大値は120 μS cm^{-1}以上になっていて，較差が非常に大きく，日本の湖沼では見られない変化をする。そして，水深は0.5 m位から8m以上まで変化し，湖の表面積は乾季と雨季で5倍以上もの差がある。透明度は雨季では2 mくらいはあるが，乾季の湖水は猛烈に濁っていて数cmしかない（遠藤ほか，2004）。Fig.6は電気伝導度と同時に測定した，DOとpH，水温のデータである。DOとpHも湖水位と共に変化していて，乾季にはどちらも小さくなっている。水温は年中を通じてほぼ一定である。

以上のように，定点観測のデータだけからは，季節によって湖面の面積が大きく変化するだけでなく，電気伝導度やDO，pHのような化学的な性質も大きく変化するようにみえる。しかし，横断観測のデータを合わせて考えると，湖中心部では水質特性はあまり変化しないが，

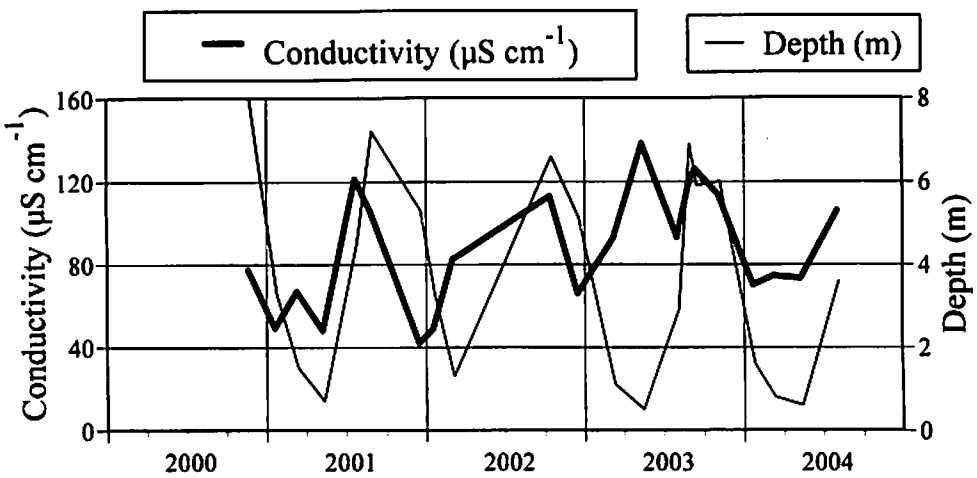

Fig. 5. Time variations in depth and conductivity at fixed station observation site (▲) in Fig. 1.
図5　定点における水深と電気伝導度の季節変化．

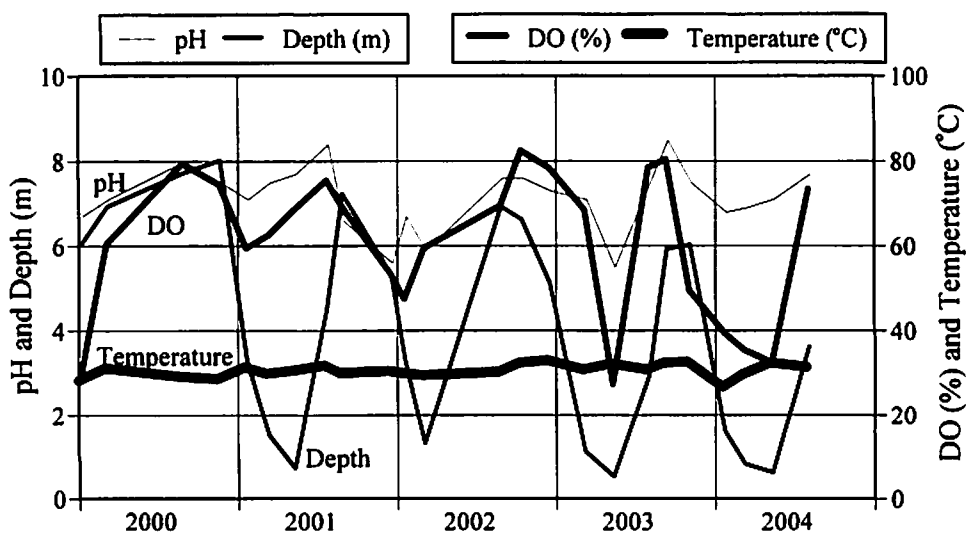

Fig. 6. Time variations in pH, DO, and temperature at fixed station observation site (▲) in Fig. 1.
図6.　定点におけるｐＨとDO，水温の季節変化．

湖岸近くでは水位変化に伴って，水質特性が大きく変化する。

雨季の湖水はほとんどがメコン河の水であると考えられる。乾季の湖水に関しては不明な点が多いが，少なくともシェムリアプ川の河口近くで乾季に電気伝導度が小さくなるのは川から流入する電気伝導度の小さい水の影響であると考えられる。今後，各河川の流量や水質の変化と，湖の水位や水質の変化の関係を調べる必要がある。

謝　辞

この研究は，主として日本学術振興会科学研究補助金基盤研究（B)(1)（課題番号 15405004, 代表者：塚脇真二）によって行った。

文　献

遠藤修一・塚脇真二・奥村康昭(2004)：トンレサップ湖(カンボジア）に出現した下位蜃気楼．天気，52: 3-4.

Mitsushio, H., O. Masao and Ay Meas(1970): Limnological investigation of the Mekong water system, Canbodia. Research Reports of Kochi University, Natural Science, 19:59-68.

Okumura, Y., Endoh, S., Darith, E. and Oyagi, H. (2005): Meteorological Characteristics of Siem Reap, Cambodia. First International Symposium on Evaluation of Mechanisms Sustaining the Biodiversity in Lake Tonle Sap, Cambodia, Ministry of Industry, Mines and Energy, Phnom Penh, Cambodia: 79-81.

Oyagi, H., Endoh, S., Okumura, Y., Monichoth, S. I., Tsukawaki, S., Ishikawa, T., Fujii, T., Fujita, K. and Mori, K. (2005): Seasonal changes in water level and water quality in Lake Tonle Sap, Cambodia. First International Symposium on Evaluation of Mechanisms Sustaining the Biodiversity in Lake Tonle Sap, Cambodia, Ministry of Industry, Mines and Energy, Phnom Penh, Cambodia: 31-32.

ラオ・キム・リァン（1992）：アンコール地域の陸水環境について-水質の予備調査-，カンボジアの文化復興，6，上智大学アジア文化研究所：109-128.

トンレサップ湖総合学術調査提言委員会（2002）：トンレサップ湖総合学術調査に向けて（現地調査報告）．社団法人国際建設技術協会，東京.