

インドシナ半島南部における過去6500年間の環境変遷史

- カンボジアを中心に -

Environmental Changes in the Southern Part of the Indochina Peninsula during the Last 6,500 years

塚脇真二(金沢大学工学部)

Shinji Tsukawaki (Kanazawa University)

1. はじめに

インドシナ半島最大の湖であり世界の湖沼の中でも第20位の水域面積をもつトンレサップ湖は、雨季と乾季とでその水域が3倍以上にも変化する”伸縮する水域”として(Lao, 1992). またアンコール・ワットなどの巨大石造建造物を生み出したクメール文明をはぐくんだ湖(たとえば石澤, 1989)として著名である. 同湖では季節的な湖水位変化に支配された特異な堆積作用の発生や、湖底堆積物を用いての地環境環境変遷史復元の可能性などが指摘されている(Tsukawaki, 1995). また、完全な淡水湖であるにもかかわらず同湖にはフグやエイなど本来海棲である魚類などが生息することでも知られ(Kottelat, 1985), この事実はかつて同湖が海洋と密接に連絡していた可能性を示唆する. このように同湖の形成・発達史は地質学的ならびに生物学的に

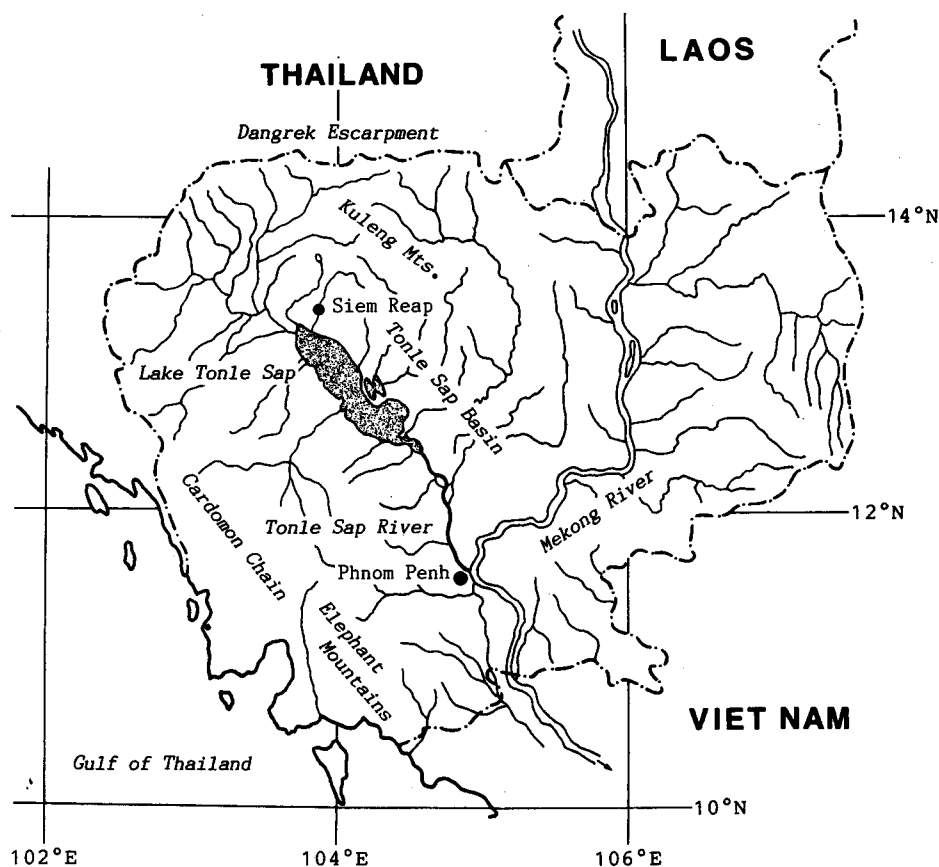


図1. カンボジアの地形ならびにトンレサップ湖の位置.

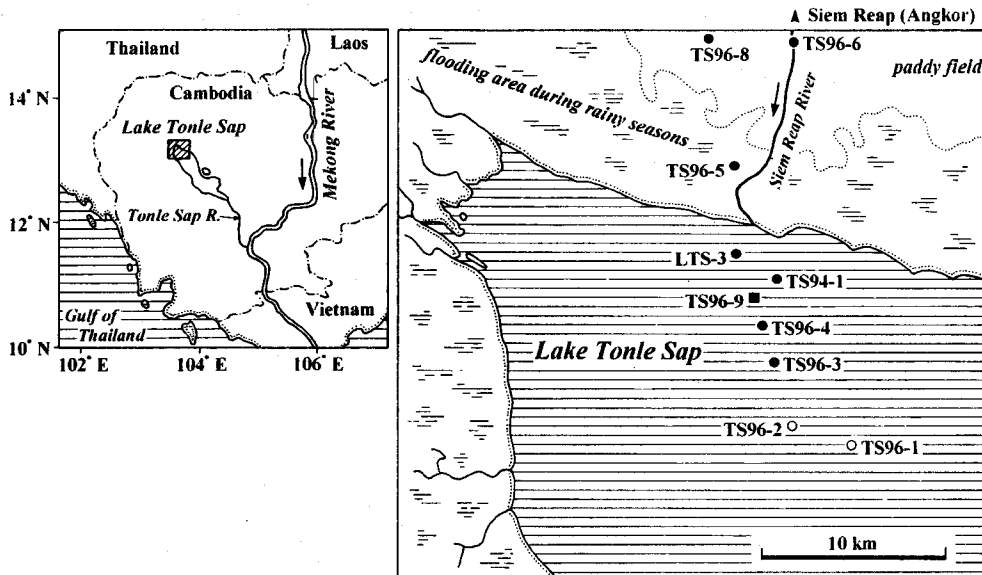


図2. トンレサップ湖北部における試料採集位置。(○は柱状試料ならびに表層試料採集地点, ●は表層試料採集地点, ■は表層水採集地点: Tsukawaki, 1998 に加筆).

きわめて興味深いものがあるにもかかわらず、カンボジアが長年戦乱のもとにあったためその調査研究はきわめて少なく、堆積物に関してはフランス統治時代直後のもの(Carbonnel and Guiscafre, 1962-1963)や、同湖北部ならびに関連河川の表層堆積物についての報告があるのみである(Tsukawaki and Lao, 1995a, 1995b; Tsukawaki *et al.*, 1994a and 1994b; Tsukawaki and Okawara, 1995). しかし、ここ数年の同国の政治的安定によって同湖での調査研究は実行に移せる段階に至ったといえよう。

トンレサップ湖における古環境変遷史の解明を目的とし、1996年5月に同湖北部において柱状採泥ならびに表層採泥を行った。2本の柱状試料はともに同湖北部のほぼ中央で採集されたもので、いずれの試料も堆積物の連続性がきわめて良好であることから、これらの試料を用いて同湖北部における堆積作用の詳細や環境変遷史の解明が期待される。そこで本稿では、これらの試料の解析結果からこれまでに明らかとなった事実を述べ、これにもとづきトンレサップ湖ならびにメコン河下流域における過去約6,500年間の環境変遷史について考察する。

2. トンレサップ湖の自然環境

トンレサップ湖は、カンボジア北西部の低地(トンレサップ盆地)中央に位置し、同低地の南西にはカルダモン山脈ならびにエレファント山地、北にはダンレク山地、そして北東にはクーレン山地がそれぞれ位置する(図1)。また、同低地内にはプノムクロムやプノムバケンなど標高数100m以下の丘陵が存在する。トンレサップ盆地周辺山地から同湖に流下する多数の河川は、ほとんどは乾季には枯渇するものの雨季には多量の水とともに碎屑物を同湖へと供給する。乾季の同湖は北西-南東方向の長軸が約120km、それと直交する短軸が約40kmのひょうたん型を呈し、水域面積は約3,000km²であり(理科年表, 1993)、平均水深は3m程度と推定される(Mitusio *et al.*, 1970; Tsukawaki *et al.*, 1994)。しかし、トンレサップ川によってメコン河と連絡する同湖は、雨季になると同湖周辺河川から流入する水に加えメコン河の水がトンレサップ川を通じて逆流し、その面積が約10,000km²以上に膨れ上がるとともに水深も最大15mに達する(理科年表, 1993)。このようにトンレサップ湖では雨季と乾季とで水域面積ならびに水深が大きく異なることや、トンレサップ川では同様に水の移

動方向およびそれにとりなう堆積物の移動方向が逆転することが特徴的である。なお、同湖湖底の海拔高度は数m程度と推定される。

3. 試料採集ならびに解析方法

本研究に用いた2本の柱状試料(TS96-1, 2)は、1996年5月に採泥筒長1.3m、錘重量約16kgのフレーガー式採泥器を用いてトンレサップ湖北部ほぼ中央の湖底から採取されたもので、採取地点の水深はともに0.9mである(図2)。TS96-1コアは採集直後に現地にて半裁し開封のうえ岩相を記載し、粘土鉱物、花粉、放射性炭素年代測定用試料をそれぞれ採集した。一方、TS96-2コアは現地にて密封のうえ日本に持ち帰り、開封・記載後に軟X線透視観察用試料を採取し、その後放射性炭素年代測定用、そして各種微化石分析用試料をそれぞれ採集するとともに、5cm間隔で堆積物を採取し砂質堆積物組成および含泥(砂)率を求めた。一方、表層堆積物の採集にあたってはソリネット式ドレッジ採泥器を用いた。表層試料は現地にて開口径63mmの篩上で水洗し、残留物に中和ホルマリンを加え日本に持ち帰った。

4. 柱状試料解析結果

2本の柱状試料(TS96-1, 2)の堆積相記載を図3に、粘土鉱物組成、堆積相、放射性炭素年代測定、含砂率、および珪藻分析のそれぞれの解析結果を図4にまとめ示し、以下にそれぞれについて記載する。

堆積相および砂質堆積物組成: TS96-1試料はコア長125cmで、表層部22cmの軟弱かつ塊状の明緑灰色泥、表層下22~47cmのやや緻密でわずかに生物擾乱を被った明緑灰色泥、同47~102cmの緻密で生物擾乱を被った暗緑色泥、そして同102~125cmの緻密で塊状の暗緑灰色泥から構成される。一方、コア長108cmのTS96-2試料は、表層部15cmの軟弱で塊状の明緑灰色泥、表層下15~50cmのやや緻密で生物擾乱を被った明緑灰色泥、同50~100cmの緻密で生物擾乱を被った暗緑色泥に区分される。いずれのコアにも細粒砂大の微細な炭化植物破片が全体に散在する。また、両コアの表層下47cmあるいは50cmの明緑灰色泥と灰緑色泥との境界のみは明瞭であるが、そのほかの境界はいずれも漸移的である。なお、両試料ともに、表層下約25cmの明緑灰色泥中には、おもに*Corbicula* sp.からなる層厚約2cm貝殻密集層が挟在する。このように両試料は堆積相のうえから図3および4に示すとおり確実に対比される。

両試料ともに全体をとって泥質堆積物が卓越する。これらの泥質堆積物はほとんどが粘土鉱物から構成され、珪藻遺骸・花粉・海綿骨針などが確認される。一方、わずかに含まれる砂質堆積物を構成するのはおもに極細粒~細粒の石英で、わずかにラテライト片からなる岩片や炭化植物破片が認められる。TS96-2試料で行った含砂率測定結果では、下半部58cmの暗緑色泥の層準が全体をとってほぼ0%であるのに対し、それ以上の層準では5~20%と明らかな含砂率の上昇が認められる。

粘土鉱物組成: TS96-1試料で行った粘土鉱物分析の結果、カオリン鉱物、スメクタイト、緑泥石が全層準をとって認められた。一方、試料下半部約50cmでは確認されなかったイライトが、試料上半部には存在する点が注目される。

微小生物遺骸群集組成(珪藻・介形虫・花粉): TS96-2試料の最上部約20cmおよび表層下約40, 55, 75, および90cm層準から珪藻遺骸がそれぞれ産出した。いずれも*Aulacoseira* spp., *Gyrosigma* sp., *Actinocyclus?* spp.などの淡水種である。一方、TS96-1コアの表層下約20cmからはCandonidae sp., *Ilyocypris* sp.などの代表的淡水性介形虫が産出した。また、TS96-1コアの2層準で行った花粉分析結果からは、いずれの層準でも現在のトンレサップ湖周辺に繁茂する植生と同じ花粉群集が得られたほか、最下部の試料からはわずかにマングローブ花粉が検出されている(Mildenhall, 1996)。

放射性炭素年代測定結果: 2本の柱状試料のそれぞれ3層準について放射性炭素年代測定を行った。TS96-2試料最上部1点の貝殻試料をのぞきいずれも堆積物全試料である。TS96-1試料では、表層下116~110cmで6,505±88 yr. B.P., 106~110cmで6,233±84 yr. B.P., および48~42cmで5,081±86 yr. B.P.である(Mildenhall, 1996)。一方、TS96-2試料については、表層下103~108cmで6,070±90 yr. B.P., そして48~53cmで5,620±120 yr. B.P.という年代値がそれぞれ得られた。これに加えて、TS96-2試料表層下約20cmの貝殻密集層に含まれる貝殻は630±110 yr. B.P.という年代値を示した(塚脇ほか, 1997)。これらの値から各

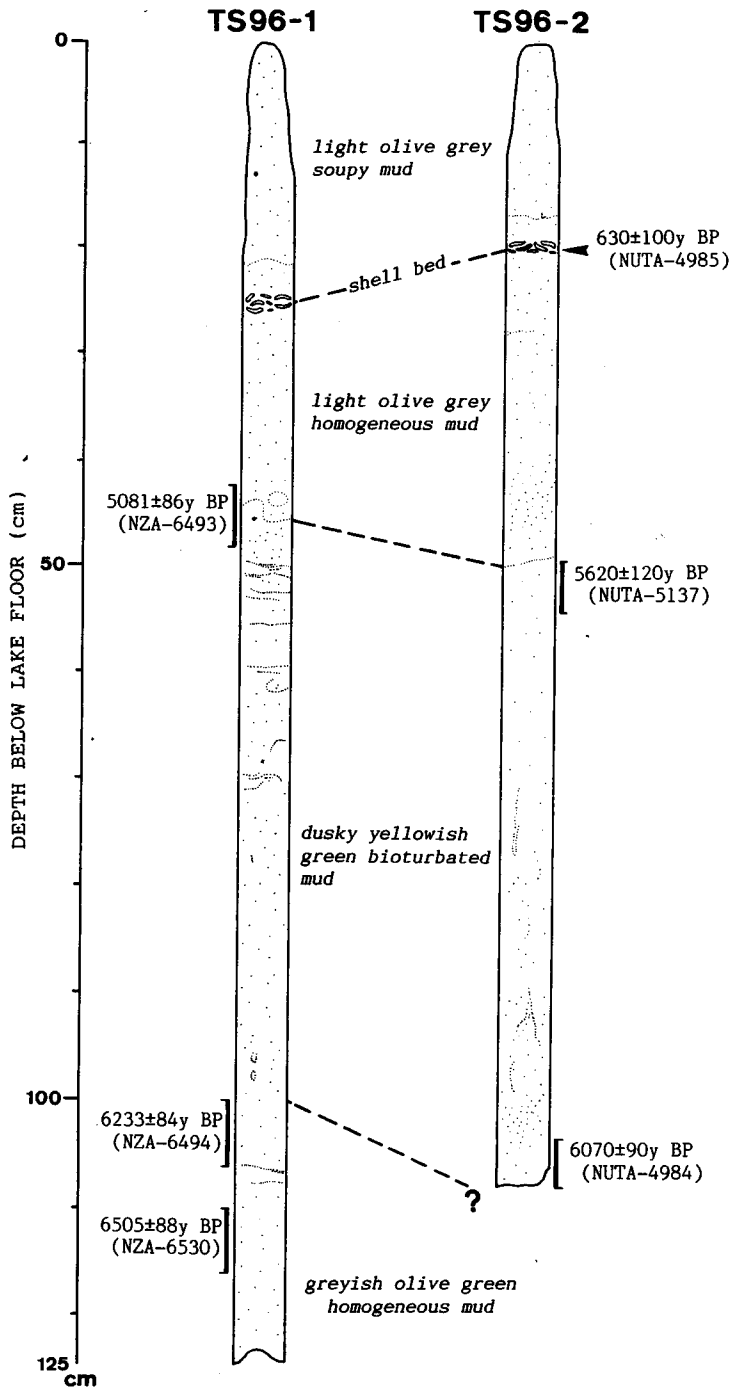


図3. 柱状試料TS96-1および2の堆積相および放射性炭素年代値 (Tsukawaki, 1997より).

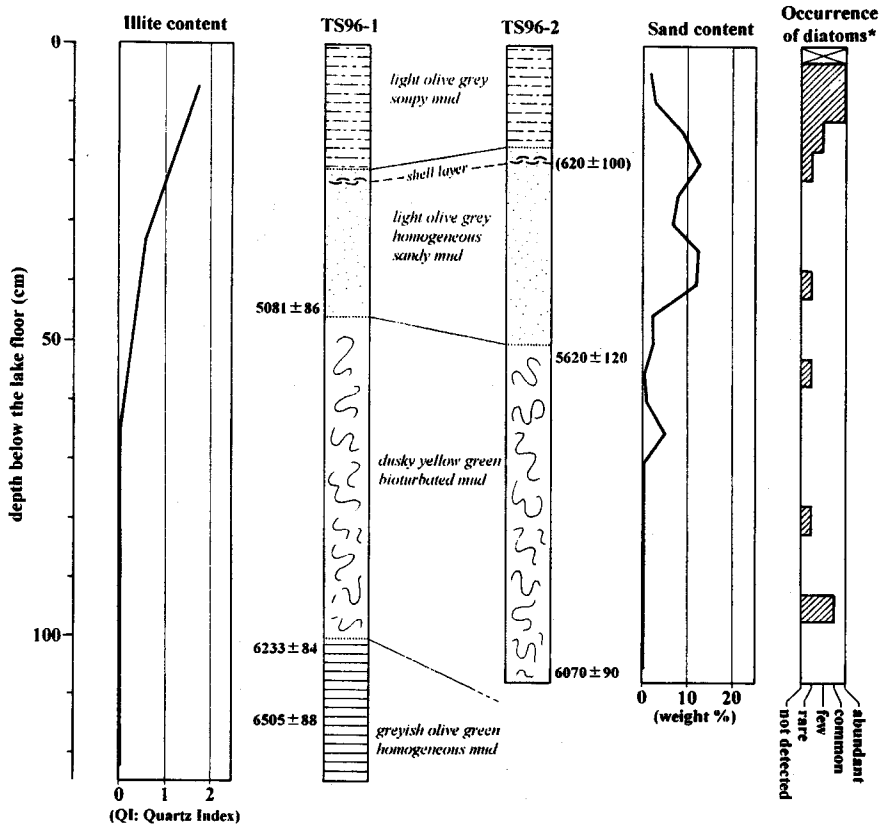


図4. 柱状試料TS96-1および2の解析結果. 左からTS96-1試料で検出されたイライト, TS96-1および2試料の堆積相および放射性炭素年代値, TS96-2試料の含砂率, そして同試料に含まれる珪藻遺骸の産出量 (Tsukawaki, 1998より).

年代値間ごとの平均堆積速度をまとめると図5に示すとおりとなる. TS96-1試料では, 約6,500年前から約6,200年前にかけての堆積速度が年平均約0.4mm, 約6,250年前から約5,100年前にかけてが同0.5mmであるのに対し, 約5,100年前以降現在に至るまでは同0.1mm以下と激減する. TS96-2試料でも, 約6,000年前から約5,600年前にかけての堆積速度が年間平均約1.2mmであるのに対し, その後現在にいたるまでは堆積速度が激減し同約0.1mm以下となる.

5. 考 察

柱状試料の解析結果で述べてきたとおり, 堆積相および含砂率, 粘土鉱物組成, そして放射性炭素年代測定結果にもとづく平均堆積速度のいずれもが, 両試料ともに表層下約50cm層準付近, 年代値にすると現在より約5,100~5,600年前の大きな変化を示す. いずれの試料でも同層準以下の堆積物が比較的緻密であるのに対しそれ以上では明らかに軟弱となる. また, 堆積物にわずかながらも砂が含まれるようになるとともに粘土鉱物中にイライトが出現する. これに加えて同層準を境として堆積速度の激減が認められる. これらの事実はこの年代にトンレサップ湖を取り巻く環境に大きな変化があったことを示すものと考えられる. ただし, 柱状試料をとおして珪藻・介形虫のいずれもが淡水性種しか見いだせないことから, 同湖は過去6,500年間をとおして淡水湖でありつづけたことは明らかである.

Tsukawaki *et al.* (1994) は, トンレサップ湖北部ならびに同湖とメコン河とを連絡するトンレサップ川の表層

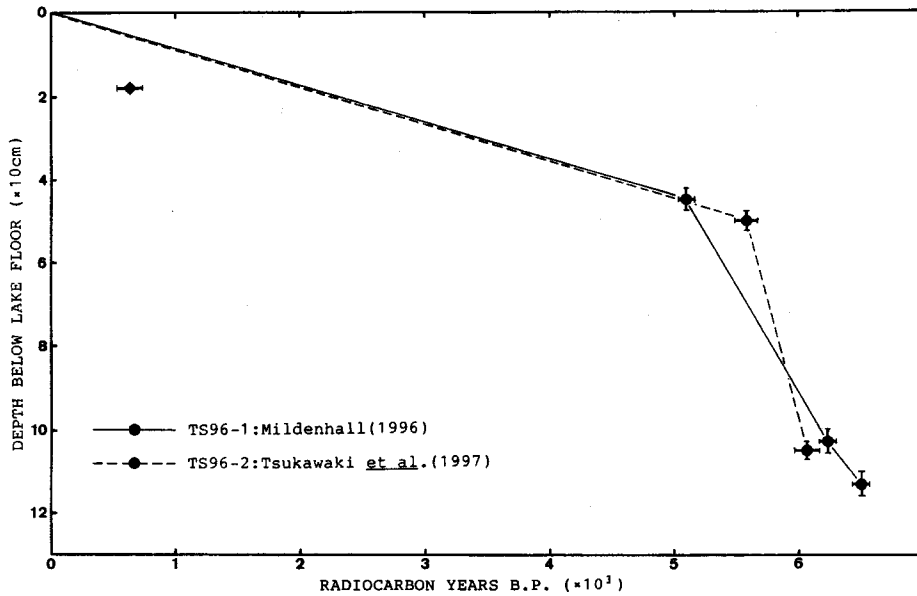


図5. 放射性炭素年代値から推定されるトンレサップ湖底における堆積速度の変化 (塚脇ほか, 1997より).

堆積物にはイライトが検出されるものの、クレーン山地から同湖へと流入するシェムリアップ川の堆積物やトンレサップ盆地表層堆積物にはこれが認められないことから、イライトはメコン河流域起源の堆積物であると結論づけた。今回の調査で採取した表層堆積物の粘土鉱物分析結果からも彼らと同様の結果が得られている。したがって、彼らの結論ならびに今回の表層堆積物解析結果にもとづけば、今回解析した柱状試料下半部の堆積物からイライトが検出されないことは、同試料下半部が堆積した時代、すなわち約5,100～5,600年前以前のトンレサップ湖はメコン河との連絡がなかったことになる。

一方、Tsukawaki *et al.* (1994)は、雨季の同湖北部の表層堆積物の表層部約1cmが含砂率約2%の褐色泥であるのに対し、それ以下の堆積物が含砂率16%の濃緑灰色砂質泥であることを報告している。上部の褐色泥はその色彩にもとづき明らかに採集当時の雨季の堆積物と判断される。それに対して下位の濃緑灰色砂質泥はそれ以前の堆積物といえる。トンレサップ湖は雨季でも平均水深約5mときわめて浅く、泥質堆積物はわずかな波浪でも容易に湖底から巻き上げられることが予想され、これは湖水が一年をとおして褐色に濁っていることから支持される。そしてこのような湖水中の懸濁物となった泥質堆積物は、乾季になってトンレサップ川へと流出する湖水とともにメコン河へと運ばれることが考えられる。一方、わずかながらも含まれる砂質堆積物は流出せずに湖底に留まるものと判断され、これらは年を追うごとに蓄積されるといえる。したがって、今回の柱状試料上半部だけに砂質堆積物が含まれる事実は、このような泥質堆積物の選択的な浸食、そしてメコン河への運搬・流出という堆積作用が上半部が堆積した時代、すなわち約5,100～5,600年前ころに発生したと推定される。さらに、この推定は同時代以降になって湖底での堆積速度が激減した事実からも裏付けられる。

以上の考察結果から、約5,100～5,600年前以前のトンレサップ湖は、現在のようにトンレサップ川によってメコン河と連絡していなかったことは確実である。それ以前の同湖はおそらくトンレサップ盆地内の孤立湖であり、周囲から流入する泥質堆積物によって急速に埋積が進んでいた。しかし、約5,100～5,600年前ころに発生したなんらかの環境変化によってメコン河と連絡し、雨季と乾季とで水位や水域が大きく変化する現在の同湖特有の環境が現出したものといえる。

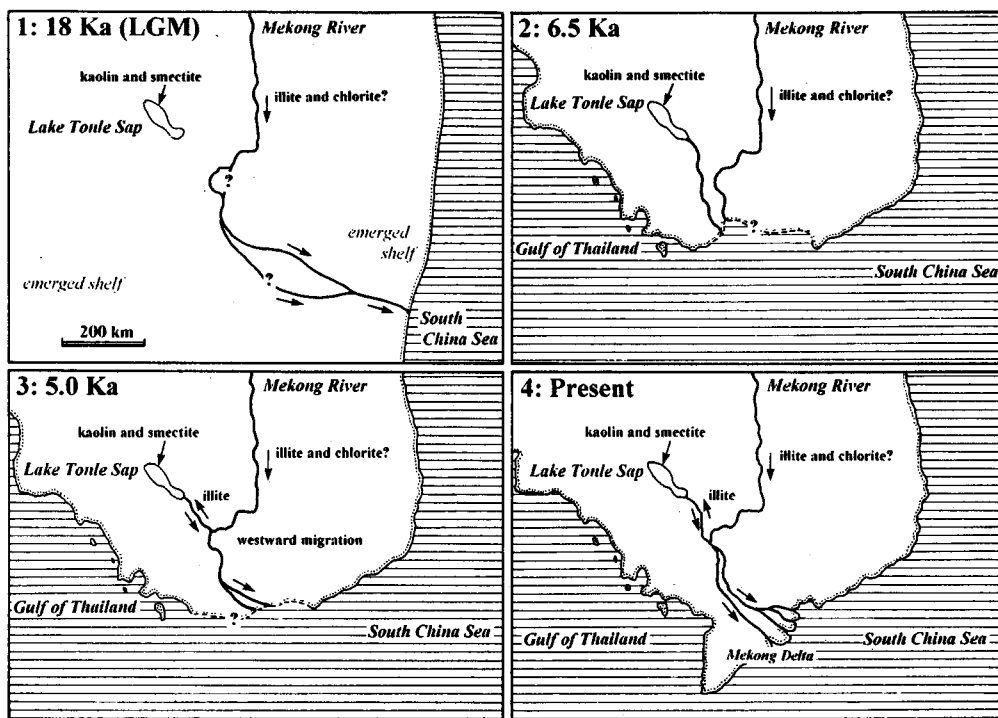


図6. インドシナ半島における18,000年前から現在にいたるまでの古地理の変遷 (A: 18,000年前最終氷河最大期, B: 6,500年前海面高頂期, C: 5,000年前, D: 現在, Tsukawaki, 1998に加筆).

このように推定されるトンレサップ湖ならびにメコン河を含む周辺水系の環境変化を導いた原因として、同湖の地理的位置からまず想定されるのは海水準変動の影響であろう。同湖湖底の海拔高度はわずかに数mであり、海水準のわずかな上昇が大きな影響を及ぼすことは必至である。約6,000年前には汎世界的に海水準が現在よりも高かったことが知られ、その一例としてマレー半島南西岸での海水準は今から約6,000年前に約1.5m高かったと報告されている (Fujimoto *et al.*, 1999)。また、約6,000年前の海岸線が、現在のベトナムとカンボジアとの国境を越えたメコン河・バサック河下流域あたりにまで達していたと推定されている (Tep and Tsukawaki, in press)。したがって、海水準の上昇とそれに引き続く約6,000年前の高海水準期の影響によってメコン河下流が流路を西へと変更するとともにトンレサップ川が出現し、約5,600～5,100年前にメコン河とトンレサップ湖とは連絡するようになったものと判断される。以上の考察結果をとりまとめると、約18,000年前 (Wang *et al.*, 1995) から現在にいたるトンレサップ湖ならびにメコン河下流域の環境変遷史は図6に示すとおりとなる。

6. 今後の課題

治安上ならびに時間的な制約から今回の調査はトンレサップ湖北部に限られた。しかし、今回の研究成果をふまえ、同湖全域における同様の柱状採泥、ならびに長さ10m程度の柱状採泥を行うことで、同湖全域にわたる堆積作用の解明ならびに過去数万年間の同湖における環境変化の復元が今後期待される。

謝辞

本研究をとおしてさまざまなご意見をいただいた1996年トンレサップ湖調査計画 (Tonle Sap 96 Project) 参加研究者諸氏、ならびに本稿を公表する機会を与えていただいた東京大学文学部今村啓爾教授に感謝の

意を表する。また、本研究にかかる費用は平成8年度日本証券奨学財団研究調査助成金第838号を使用した。

引用文献

- Carbonnel, J. P. and Guiscafre, J., 1962-63, *Grand Lac du Cambodge*. Nat. Hist. Mus., Paris, 401p.
- Fujimoto, K., Miyagi, T., Murofushi, T., Mochida, Y., Umitsu, M., Adachi, H. and Pramojanee, P., 1999, Mangrove habitat dynamics and Holocene sea-level changes in the southwestern coast of Thailand. *Tropics*, 8, 239-255.
- 石澤良昭, 1989, 甦る文化遺産”アンコール・ワット”. 日本テレビ放送網, 東京, 160p.
- Kottelat, M., 1985, Fresh-water fishes of Kampuchea. A provisory annotated check-list. *Hydrobiologia*, 121, 249-279.
- Lao, K.-L., 1992, The inland water environment of the Angkor Region -Preliminary survey of water quality-. *Renaissance Culturelle du Cambodge, Sophia University, Institute of Asian Cultures*, 6, 200-213.
- Mildenhall, D. C., 1996, Report on two pollen samples from Lake Tongle Sap, Cambodia. *Institute of Geological and Nuclear Sciences, New Zealand*, 14p. (unpublished).
- Tep, V. and Tsukawaki, S., in press, Palaeogeographic maps of Cambodia at the Holocene Optimum. in Wang, P. ed., *WESTPAC Paleogeographic Maps: the Holocene Optimum Paleogeographic Map for the Western Pacific Region*. UNESCO/IOC Western Pacific Subcommission, Tongji Univ., Shanghai.
- Tsukawaki, S., 1995, A geological approach to interpreting the Khmer civilization. *Renaissance Culturelle du Cambodge, Sophia University, Institute of Asian Cultures*, 11, 271-280.
- Tsukawaki, S., 1998, Environmental changes in Lake Tonle Sap and the Mekong River System in Cambodia during the last 6,500 years. *Abstracts of the First International Symposium on the Geoenvironmental Changes and Biodiversity in the Northeast Asia*, Seoul National University, Seoul, 56-62.
- Tsukawaki, S. and Lao, K.-L., 1995a, Sedimentary structures of the surface sediments in the northern part of Lake Tonle Sap. *Renaissance Culturelle du Cambodge, Sophia University, Institute of Asian Cultures*, 11, 140-146.
- Tsukawaki, S. and Lao, K.-L., 1995b, Bottom sediments of Tonle Sap River in Phnom Penh City, Cambodia. *Renaissance Culturelle du Cambodge, Sophia University, Institute of Asian Cultures*, 11, 164-175.
- Tsukawaki, S. and Okawara, M., 1995, Sedimentation of Lake Tonle Sap, Cambodia. *Proceedings of International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resources of Indochina, Khon Kaen, Thailand*, 53-59.
- Tsukawaki, S., Kamemaru, A. and Nishi, H., 1994a, Occurrence of a fossil planktonic foraminifera from Cambodia. *Renaissance Culturelle du Cambodge, Sophia University, Institute of Asian Cultures*, 10, 177-181.
- 塚脇真二・奥野 充・中村俊夫, 1997, 14C年代からみたトンレサップ湖北部湖底における過去約6,000年間の堆積速度. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, 8, 125-132.
- Tsukawaki, S., Okawara, M., Lao, K.-L. and Tada, M., 1994b, Preliminary study of sedimentation in Lake Tonle Sap, Cambodia. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, 103, 623-636.
- Wang, P., Bradshaw, M., Ganzey, S. S., Tsukawaki, S., Hassan, K., Hantoro, W. S., Poobrasert, S., Burne, R., Zhao, Q. and Kagami, H., 1995, *WESTPAC Paleogeographic Maps: the Last Glacier Maximum Paleogeographic Map for the Western Pacific Region*. UNESCO/IOC Western Pacific Subcommission, Marine Geology Laboratory, Tongji Univ., Shanghai, 75p.