

# $^{14}\text{C}$ 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

塚脇 真二<sup>1</sup>・奥野 充<sup>2</sup>・中村 俊夫<sup>3</sup>

1 : 金沢大学工学部土木建設工学科

2 : 名古屋大学大学院人間情報学研究所  
(日本学術振興会特別研究員)

3 : 名古屋大学年代測定資料研究センター

## 1. はじめに

インドシナ半島最大の湖であるトンレサップ湖は、雨季と乾季とでその冠水面積が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域的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、現在は淡水湖であるにもかかわらずフグやエイなど本来海棲である魚類や海綿動物などが生息することも知られている (Kottelat, 1985; Tsukawaki and Moriai, 1993)。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こともあって、同湖についての調査研究はきわめて少なく、堆積物に関しては同湖北部や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 Moriai, 1993; Tsukawaki and Lao, 1995a and 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 (Tsukawaki, in press)。

1996年5月にトンレサップ湖北部において、採泥筒長1.6mのフレーガー式柱状採泥器を用い世界初の柱状採泥に成功した。2本の柱状試料 (TS96-1および2) はともに同湖北部のほぼ中央で採集されたもので (図1), 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を解明できる可能性がある。そして、同湖の湖底堆積物に既知のテフラなどの挟在が期待されないため、これらの研究達成のためには柱状試料の複数の層準における $^{14}\text{C}$ 年代値の測定が不可欠である。

そこで本研究では、名古屋大学年代測定資料研究センターのタンデトロン加速器質量分析計を用いて測定された、トンレサップ湖北部の柱状試料TS96-2の3層準の $^{14}\text{C}$ 年代値をまず報告する。そして、これらの年代値にもとづき同湖北部における過去約6,000年間の堆積速度ならびにその変化について考察し、将来の研究へむけての基礎資料とする。

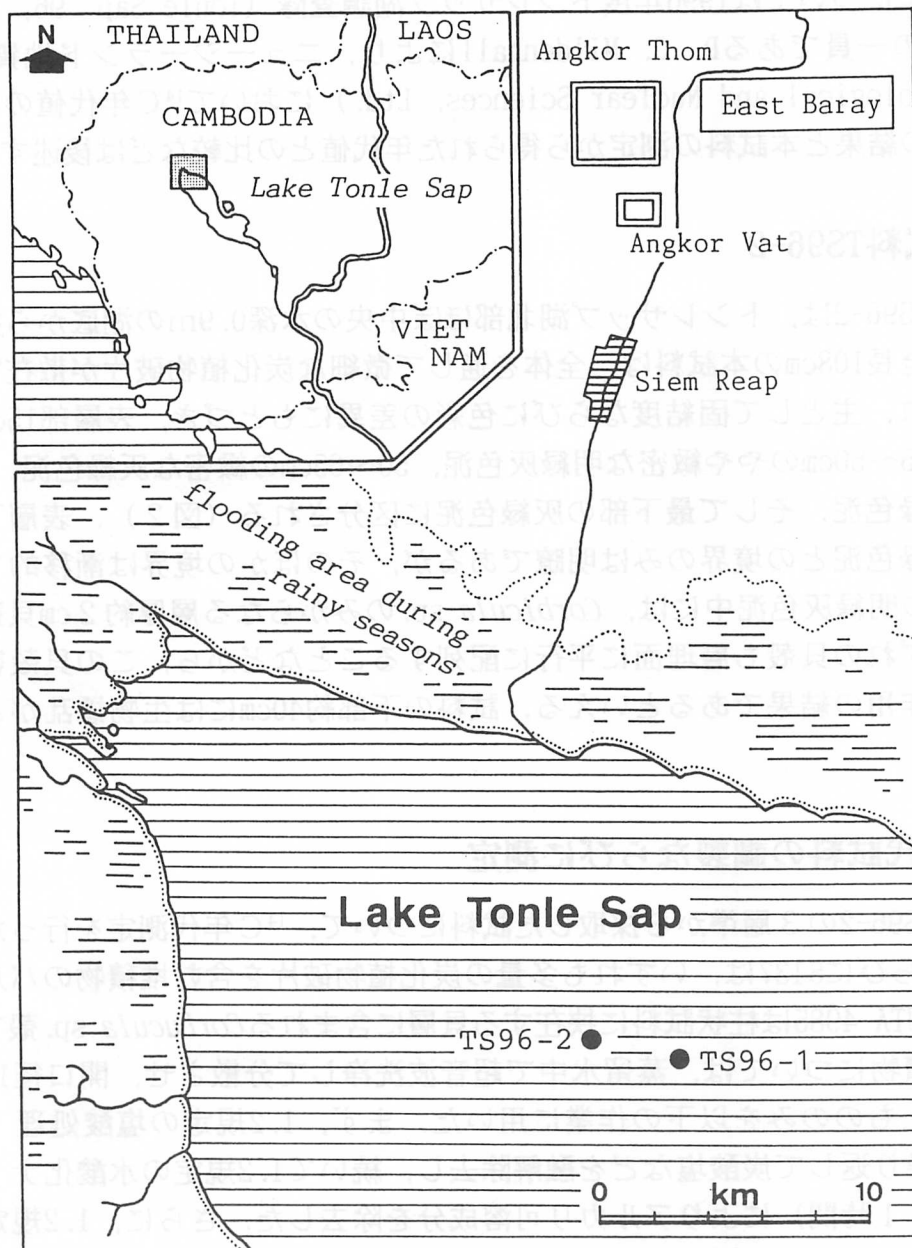


図1. トンレサップ湖の位置，ならびに同湖北部における柱状試料TS96-2およびTS96-1の採集位置

Fig. 1. Locality of Lake Tonle Sap, Cambodia and sampling sites of cored sediments TS96-1 and 2 in the northern part of the lake

なお、同時に採集した柱状試料TS96-1は、採集直後に現地にて開封のうえ分割し、そのうち3層準については1996年度トンレサップ湖調査隊 (Tonle Sap '96, 研究代表者: 塚脇真二) の一員であるD. C. Mildenhallにより、ニュージーランド地質調査所 (New Zealand, Geological and Nuclear Sciences, Ltd.) において $^{14}\text{C}$ 年代値の測定が行われている。この結果と本試料の測定から得られた年代値との比較などは後述する。

## 2. 柱状試料TS96-2

柱状試料TS96-2は、トンレサップ湖北部ほぼ中央の水深0.9mの湖底から採集されたものである。全長108cmの本試料は、全体を通して微細な炭化植物破片が散在する均質な泥より構成され、主として固結度ならびに色彩の差異にもとづき、表層部15cmの軟弱な明緑灰色泥、15~50cmのやや緻密な明緑灰色泥、50~65cmの緻密な灰緑色泥、65~100cmの緻密な暗灰緑色泥、そして最下部の灰緑色泥に区分される (図2)。表層下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、そのほかの境界は漸移的である。表層から20cm下の明緑灰色泥中には、*Corbicula* sp.のみからなる層厚約2cm貝殻密集層が挟在する。いずれの貝殻も層理面に平行に配列することなどから、この貝殻密集層は明らかに再堆積作用の結果であるといえる。試料の下部約40cmには生物擾乱がとくに発達する。

## 3. $^{14}\text{C}$ 年代試料の調製ならびに測定

柱状試料TS96-2の3層準から採取した試料について、 $^{14}\text{C}$ 年代測定を行った。測定番号NUTA-4984ならびに5137は、いずれも多量の炭化植物破片を含む堆積物のバルク試料である。一方、NUTA-4985は柱状試料に挟在する貝層に含まれる*Corbicula* sp.殻である。

2点の堆積物については、蒸留水中で超音波洗浄して分散させ、開口径106 $\mu\text{m}$ のふるいを通したもののみを以下の作業に用いた。まず、1.2規定の塩酸処理 (80 $^{\circ}\text{C}$ , 2時間) を2回繰り返して炭酸塩などを融解除去し、続いて1.2規定の水酸化ナトリウム溶液処理 (80 $^{\circ}\text{C}$ , 1時間) によりアルカリ可溶成分を除去した。さらに、1.2規定の塩酸処理 (80 $^{\circ}\text{C}$ , 2時間) を2回行ったうえで蒸留水で十分に洗浄し、80 $^{\circ}\text{C}$ の乾燥器内で乾燥させた。処理試料の炭素および窒素含量は、CNコーダー (柳本社製, MT-700) により測定した。そして、試料 (炭素量約2mg) を酸化銅とともにバイコール管に真空封入し950 $^{\circ}\text{C}$ にて約2時間加熱した。一方、貝殻については、蒸留水中での超音波洗浄によって表面の付着物質を取り除き、0.1規定の塩酸による表面の融解除去、蒸留水による洗浄、そして乾燥ののちにメノウ乳鉢で粉碎した。これを真空ラインに接続した反応管内でリン酸と反応させた。これら一連の操作によって堆積物ならびに貝化石から発生した気体を真空ライン中で寒剤を用いて精製し、これによって得られた二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) を用い、Kitagawa *et al.* (1993) の水素還元法によりグラファイトターゲットを作製した。そして、調製したグラファイトターゲットについて名古屋大学のタンデム加速装置質量分

表1. トンレサップ湖北部から採取された柱状試料TS96-2の堆積物ならびに貝殻の<sup>14</sup>C年代値

Table 1. Radiocarbon ages of sediments and a molluscan shell from TS96-2 core obtained in the northern part of Lake Tonle Sap, Cambodia.

horizon (cm)	sample	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	<sup>14</sup> C age (yr BP)	lab no.
20	shell	-11.9	630 ± 100	NUTA-4985
48 - 53	sediments	-21.1	5,620 ± 120	NUTA-5137
103 - 108	sediments	-23.3	6,070 ± 90	NUTA-4984

half-value life: 5,568 yr

析計 (Nakamura *et al.*, 1985 ; 中村・中井, 1988) を用い<sup>14</sup>C年代を測定した。<sup>14</sup>C濃度の標準体には, NBS蓚酸 (SRM-4990) を使用した。

#### 4. 考 察

測定結果を表1に示す。<sup>14</sup>C年代値は, Libbyの半減期5,568年を用いて算出し, 西暦1950年から遡った年数で示す。測定誤差は<sup>14</sup>Cの計数にもとづく統計誤差を考慮し1標準偏差(1σ)で示す。また, トリプルコレクター式気体用質量分析計 (Finnigan MAT社製, MAT-252) を用いて試料の $\delta^{13}\text{C}$ 値を測定し, 炭素同位体の質量分別効果を補正した(中村ほか, 1994)。

Tsukawaki *et al.* (1994b) は, 雨季に採取したトンレサップ湖北部の湖底堆積物の表層部約2cmのみが赤褐色であることを発見し, この赤褐色泥が1回の雨季の堆積物であるとの判断にもとづき, 同湖北部における堆積速度を年間約2cmと見積もった。しかし今回の測定から, 表層下103-108cmの堆積物について, 6,070±90yr. B. P, 表層下48-53cmの堆積物については5,620±120yr. B. Pという予想以上に古い<sup>14</sup>C年代値が得られた。これに加えて, 表層下約20cmの貝殻密集層に含まれる貝殻も630±110yr. B. Pという<sup>14</sup>C年代値を示す。試料最下部の堆積物から得られた<sup>14</sup>C年代値をもとに, 過去約6,000年間の平均堆積速度を求めると年間約0.2mmとなり, これはTsukawaki *et al.* の推定をはるかに超える低いものといえる。

さらに, 明らかな再堆積物である表層下20cmの貝殻から得られた<sup>14</sup>C年代値を除外し, 2層準の堆積物試料の<sup>14</sup>C年代値にもとづきトンレサップ湖北部における堆積速度の時代的变化を考えると, 過去約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年間平均約0.1mmとなる。このような堆積速度の急変層準と, 堆積物の固結度ならびに色彩の変化する層準とがほぼ一致することから, 過去約5,600年前に同湖北部において堆積作用に大きな変化

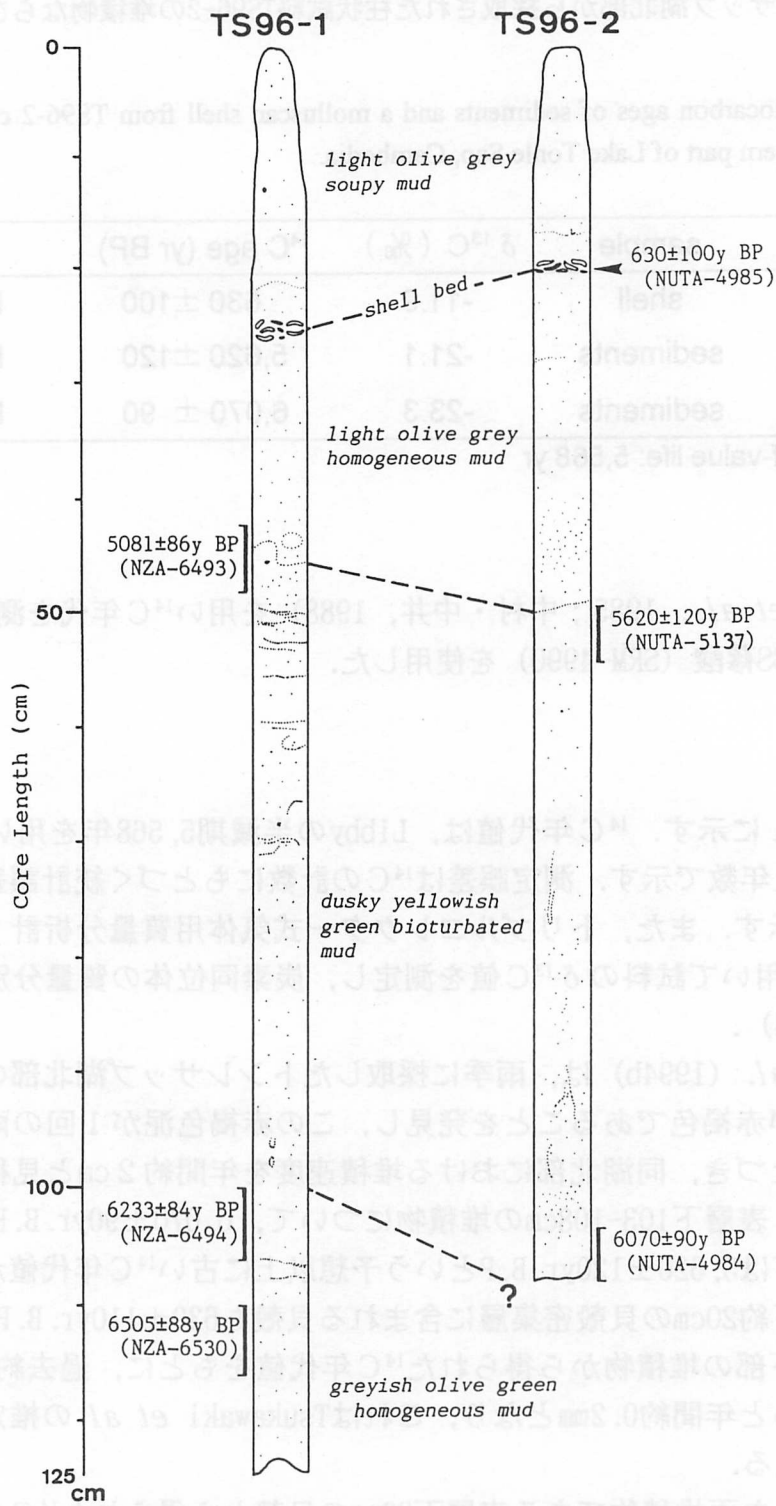


図 2. 柱状試料TS96-1および2の岩相および<sup>14</sup>C年代, ならびに両試料の対比.

Fig. 2. Lithology and radiocarbon ages of cored sediments TS96-1 and 2, and correlation based on lithology and radiocarbon ages between them.

があったことは明らかであり、これはおそらく同湖北部での埋積作用がこの時期に終了したことを意味するものと解釈される。

一方、本試料の北西約3kmの水深0.9mのトンレサップ湖湖底から採取された柱状試料TS96-1は、堆積物の類似性が本試料ときわめて高く、これに加えて柱状試料TS96-1の $^{14}\text{C}$ 年代値は、表層下116-110cmで $6,505 \pm 88\text{yr. B. P.}$ 、106-110cmで $6,233 \pm 84\text{yr. B. P.}$ 、および48-42cmで $5,081 \pm 86\text{yr. B. P.}$ であり (Mildenhall, 1996)、これらの値は柱状試料TS96-2での測定結果といずれも調和的である。したがって、堆積物の類似性ならびに $^{14}\text{C}$ 年代値にもとづき両試料の堆積物は直接対比されるものといえる (図2)。さらに、柱状試料TS96-2で約5,600年前に認められた堆積速度ならびに堆積物の急変層準が、柱状試料TS96-1では約5,100年前に位置することから、同湖北部での埋積作用は北側ほどより早く進行したことが示唆されよう。

## 5. まとめ

今回のトンレサップ湖北部湖底から得られた柱状試料TS96-2の $^{14}\text{C}$ 年代測定結果、ならびに柱状試料TS96-1での測定結果 (Mildenhall, 1996) との対比より、トンレサップ湖北部湖底における過去約6,500年間の平均堆積速度がこれまでの予想に反してきわめて低いこと、ならびに堆積速度が約5,100~5,600年前を境に年間平均約1.2mmから約0.1mmへと急減したことが明らかとなった。さらに、これらの事実にもとづき、同湖北部における埋積作用がおそらくこれらの時期で終了した可能性が示された。

現在、これらの柱状試料に含まれる花粉や珪藻などの生物遺骸群集、ならびに砂粒子や粘土鉱物の時代的变化の検討が、1996年度トンレサップ湖調査隊の参加研究者によって進められている。その一例として、柱状試料TS96-1の最下部の堆積物からは、同湖が過去には海水の影響下にあったことを示唆するマングローブの花粉が検出されている (Mildenhall, 1996)。したがって、今後期待されるこれらの検討結果に今回の測定から得られた年代値を挿入することで、トンレサップ湖ならびに同湖周辺における過去約6,500年間の環境変遷史のより精密な復元が期待される。

治安ならびに時間的制限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も今後期待されよう。

謝辞：本研究を行うにあたり、1996年度トンレサップ湖国際調査隊 (Tonle Sap '96) 参加研究者である金沢大学理学部加藤道雄教授、同神谷隆宏助教授、岩手大学工学部大河原文氏、ニュージーランド地質調査所D. C. Mildenhall博士、カンボジア王国工業省地質調査所Touch SambathならびにSieng Sotham両氏には、現地調査においてご協力をいただくとともに、本研究全般にわたりご討議いただいた。カンボジア王国国務省Vann Molyvann国務大臣および同省Sun Kun氏、ならびに同国工業省地質調査所Thach Xoval Say副所長には、調査許可の発行や現地支

援・警護体制の整備など調査にあたりさまざまなご支援をいただいた。上智大学アジア文化研究所石澤良昭教授，遠藤宣雄氏，高橋宏明氏，神奈川大学大学院谷川茂氏，日本品質保証機構ラオ・キム・リアン博士には本研究を通し有益なご教示・ご助言をいただいた。筑波大学地球科学系野田浩司教授ならびに石油資源開発株式会社技術研究所秋葉文雄博士には堆積物に含まれる生物遺骸群集についてご意見をいただいた。以上の諸氏に深い感謝の意を表す。なお，本研究を行うにあたっての諸経費は，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

- 石澤良昭，1989，甦る文化遺産”アンコール・ワット”。日本テレビ放送株，東京，160p.
- Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E., 1993, A batch preparation method of graphite targets with low background for AMS  $^{14}\text{C}$  measurements. *Radiocarbon*, **35**, 295-300.
- Kottelat, M., 1985, Fresh-water fishes of Kampuchea. A provisory annotated checklist. *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).
- 中村俊夫・中井信之，1988，放射性炭素年代測定法の基礎 -加速器質量分析法に重点をおいて-。地質学論集，**29**，83-106.
- 中村俊夫・池田晃子・小田寛貴，1994，タンデトロン加速器質量分析計による $^{14}\text{C}$ 測定における炭素同位体分別の補正について - $^{14}\text{C}$ 年代算出の手引き-。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書，**5**，237-243.
- Nakamura, T., Nakai, N., Sakase, T., Kimura, M., Ohishi, S. Taniguchi, M. and Yoshioka, S., 1985, Direct detection of radiocarbon using accelerator techniques and its application to age measurements. *Japanese Journal of Applied Physics*, **24**, 1716-1723.
- 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., in press, Sedimentological and palaeoenvironmental studies in Lake Tonle Sap, Cambodia - the present situation and open subjects. Proceedings of the International Conference on Khmer Studies, Phnom Penh, Cambodia.
- 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 Moriai, T., 1993, Preliminary study on bottom sediments of Lake Tonle Sap - clues to understanding palaeoclimate. *Renaissance Culturelle du Cambodge, Sophia University, Institute of Asian Cultures*, 8, 287-301.
- 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.
- 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.

#### Abstract

Lake Tonle Sap situated in the central part of Cambodia is the largest lake in the Indochina Peninsula. It undergoes sedimentary processes due to drastic changes in its water area between the rainy and dry seasons and is also expected that regional environmental and climate changes, and their relationships with the rise and fall of various civilizations in the peninsula are able to be reconstructed over the period based on analyses of the lake-bottom sediments.

Radiocarbon dating of the lake bottom sediments and a molluscan shell from three horizons of T99-1 core, 108 cm in length, obtained from the northern part of Lake Tonle Sap in May 1996, were carried out by an accelerator mass spectrometer (AMS) of the Dating and Material Research Center, Nagoya University to grasp sedimentation rates in the northern part of the lake as the first step in pursuing the above-mentioned subjects.

Radiocarbon ages of sediments from 103-108 cm and 48-51 cm below lake floor are 2,070 ± 100 and 2,520 ± 130 years B.P., respectively, and an age of a molluscan shell, *Corbicula*, from 30 cm below lake floor is 630 ± 100 years B.P. Consequently, sedimentation rates in the northern part of Lake Tonle Sap can be estimated based on these radiocarbon ages with the exception of the top of the molluscan shell which is an obvious reworked sediment. The sedimentation rate has been about 1.5 mm/year since 6,070 to 2,620 years B.P. but it had been drastically decreased to 0.1 mm/year since 2,620 years B.P. to present. It is inferred that the marked decrease of the sedimentation rates before and after 2,620 years B.P. was caused by completion of filling up the lake basin at that time.



# **Sedimentation rates in the northern part of Lake Tonle Sap, Cambodia, during the last 6,000 years**

**Shinji Tsukawaki**

*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kanazawa University*

**Mitsuru Okuno**

*Graduate School of Human Informatics, Nagoya University*

**and**

**Toshio Nakamura**

*Dating and Materials Research Center, Nagoya University*

## **Abstract**

Lake Tonle Sap situated in the central part of Cambodia is the largest lake in the Indochina Peninsula. Unique sedimentary processes due to drastic changes in its water area between the rainy and dry seasons are expected in the lake. Further, it is also expected that regional environmental and climatic changes, and their relationships with the rise and fall of various civilization in the peninsula are able to be reconstructed over the period based on analyses of the lake-bottom sediments.

Radiocarbon dating of the lake bottom sediments and a molluscan shell from three horizons of TS96-2 core, 108 cm in length, obtained from the northern part of Lake Tonle Sap in May 1996, were carried out by an accelerator mass spectrometer (AMS) of the Dating and Material Research Centre, Nagoya University to grasp sedimentation rates in the northern part of the lake as the first step in a series on pursuing the above-mentioned subjects.

Radiocarbon ages of sediments from 103-108 cm and 48-53 cm below lake floor are  $6,070 \pm 90$  and  $5,620 \pm 120$  years B.P., respectively, and an age of a molluscan shell, *Corbicula* sp., from 20 cm below lake floor is  $630 \pm 100$  years B.P. Consequently, sedimentation rates in the northern part of Lake Tonle Sap can be estimated based on these radiocarbon ages with the exception of the age of the molluscan shell which is an obvious reworked sediment. The sedimentation rate had been about 1.2 mm/year since 6,070 to 5,620 years B.P. but it had been drastically decreased about 0.1 mm/year since 5,620 years B.P. to present. It is inferred that the marked decrease of the sedimentation rates before and after 5,620 years B.P. was caused by completion of filling up the lake basin at that time.