

8. トンレサップ湖の底質に関する予察的研究

—古気候解明への糸口として—

塚脇真二¹・盛合禧夫²

1：東北大学理学部地圏環境科学科

2：東北工業大学工学部土木工学科

1. はじめに

現在、地質学の分野において海洋や湖沼などの水底堆積物から気候変動・環境変動を探る研究が盛んに行われている。これらの堆積物にはその当時の堆積環境や気候などを反映する微小生物化石（微化石：microfossils）が含まれていることが多く、その時間的な変化を捉らえることで、全地球的あるいは地域的な環境ならびに気候の変遷解明が可能である。とくに閉鎖水域である湖沼の堆積物は一般にその地域特有の環境・気候変動を記録することが多く、さらに堆積速度が海洋に比べて早いこともあって数100年といった短期間の変動を調べる材料として用いられる。一方、堆積物を軟X線を用いその内部構造を解析し、さらに構成鉱物組成の時間的な変化を捉らえることで、火山活動や洪水・台風・津波、地震など過去に発生した突発的地質現象を特定することができる。

インドシナ半島最大の湖であるトンレサップ湖は、カンボジア穀倉地帯の中心であるとともに豊富な水産資源を擁し、クメール王朝時代から現在にいたるまで歴史・生活・文化などの各方面にわたりカンボジア国民に密着した存在となっている。このような歴史的背景のあるトンレサップ湖の堆積物を地質学的手法で調べることで、クメール王朝時代から現在にいたる気候変遷や環境変化を復元することは十分に可能と考えられ、さらにインドシナ半島における諸文明の盛衰との関係追及をも期待できる。一方、世界各地で湖沼堆積物は人為的環境汚染の指示者として重要視されており、このような視点からトンレサップ湖の堆積物を長期的に調べることで、この地域の環境汚染調査が可能となる。さらに、トンレサップ湖は熱帯湿潤地域に存在し、地質学的歴史を持つ世界でも数少ない湖のひとつであり、雨期と乾期との繰り返しによる水位変化などに支配される熱帯湿潤地方特有の堆積作用が起こっていると考えられ、堆積学的にも興味深い湖である。

このようにトンレサップ湖は地質学・考古学・歴史学・環境科学などの諸分野から注目されるべき存在であり、水質や水産資源についての研究はありながら（たとえばラオ、

1991), これまで湖底堆積物に関する研究はまったく行われていなかった。そこで, 今回の調査ではこれらの諸問題を解決する第一歩としてトンレサップ湖および湖に注ぐ河川のひとつであるシェリムアップ川の堆積物を採集しその組成を検討した。そして, その特徴にもとづき今後の研究の発展性について考察した。

本研究を行うにあたり, 上智大学第8次アンコール調査団団長石澤良昭上智大学教授および団員諸氏には種々のご援助をいただいた。プノンベン政府情報文化省スン・クン氏, 財団法人機械電子検査検定協会ラオ・キム・リャン博士には調査にあたり便宜を計っていただくとともに採掘にご協力いただいた。東北大学理学部石崎国熙助教授および入月俊明博士には淡水性介形虫について, 東北大学理学部長谷川四郎・海保邦夫両博士には浮遊性有孔虫化石について, 山形大学教養部丸山俊明助教授および東北大学理学部岩井雅夫氏には淡水性珪藻についてそれぞれご鑑定・ご教示いただいた。ここに記して深い感謝の意を表する。

II. トンレサップ湖

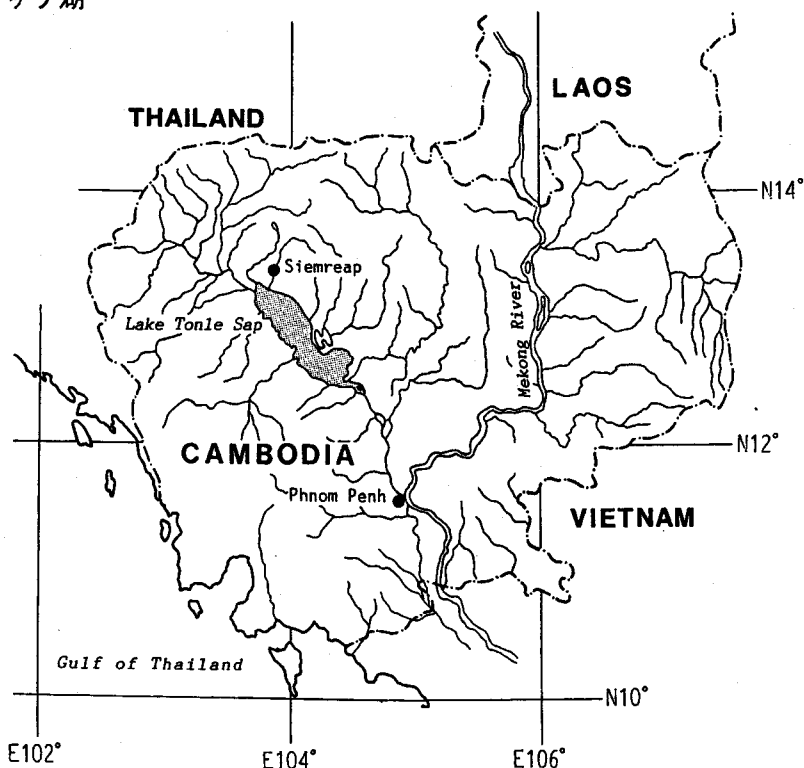


Fig. 1 トンレサップ湖およびシェリムアップ川の位置および地形

トンレサップ湖はカンボジア西部に位置し、雨期にはその面積が大きく拡大する「伸縮する水域」として有名な湖である (Fig. 1)。この湖は北西-南東方向の長軸が高水時で約120km、それと直交する幅が最大約40kmの細長い形状をもち、その面積は乾期の約30,000 km²に対し、雨期には約100,000km²と3倍以上にも拡大する (理科年表, 1992)。しかし、低水時の水深は3~6 mと全体に浅く (Mitusio, 1970)、高水時における最深部でも約14mとされている (理科年表, 1992)。湖の周囲からは多数の河川が網目状に直接流入するが十分な流量があるのはおもに雨期であり、河口付近には多量の流入土砂が三角州を形成する (Plate a)。さらに雨期にはこれらの河川群を通じての水の流入とともに、カンボジア東部を南流するメコン河からトンレサップ河を通じ多量の水が混濁物とともに湖へと流入する。一方、乾期では河川からの流入はわずかであり、湖の南東部からトンレサップ河を通じて湖水は流出する。湖水は常に黄褐色ないし赤褐色を呈し、湖水の透明度は乾期においても50~100 cmときわめて低い (Mitusio et al., 1970)。表層水の温度は湖全域で一年を通し26~30℃ときわめて高く、pH値は7.5前後とほぼ中性を示す (Mitusio et al., 1970; ラオ, 1992)。

トンレサップ湖の形成時代は不明であるが、この湖が新生代中期のヒマラヤ造山運動によって形成された緩い向斜部 (Workman, 1975) のほぼ中央に位置し、その後この地域が大きな構造運動を被っていないことを考えると、遅くとも新生代後期には湖の形成が始まっていたと推定される。

Ⅲ. 調査および研究方法

本報告で用いた試料はいずれも1992年8月19日の午前中に採集した。トンレサップ湖およびシェリムアップ川における採泥地点をFig. 2に示す。

トンレサップ湖では、採泥器として直径約6 cm、長さ12cmの円筒形アルミニウム缶を使用し、缶の周囲には長さ6インチの釘を5本、開口部に取り付けたロープには約1 kgの鉄棒をそれぞれ錘として取り付けた (Fig. 3A, Plate b)。実際の採泥にあたっては測深用ロープで水深を確認したのちに採泥器を投入した。着底確認後はロープを1 mほど繰り出し、湖底堆積物を掻き取るように努めながら採泥器を回収した (Fig. 3B)。試料は船上ですみやかに色彩・温度およびpHを測定し、表層約1 cmの赤褐色を呈する部分と下位の青灰色を呈する部分とに分けて採集した。試料の色彩はGoddard et al. (1951) に基き記載した。シェリムアップ川では川底堆積物の表層約1 cmをスコップで採取した。

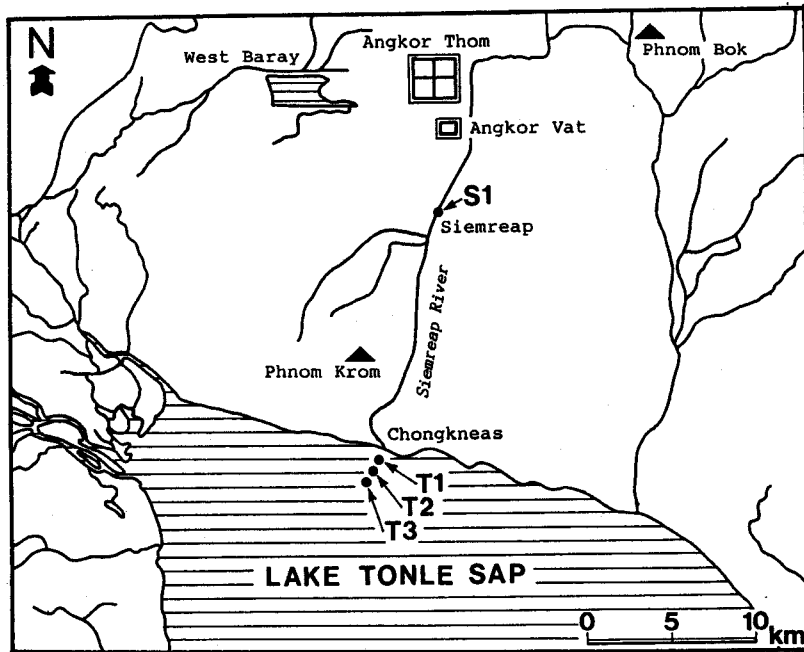


Fig. 2 トンレサップ湖およびシェリムアップ川における採泥地点

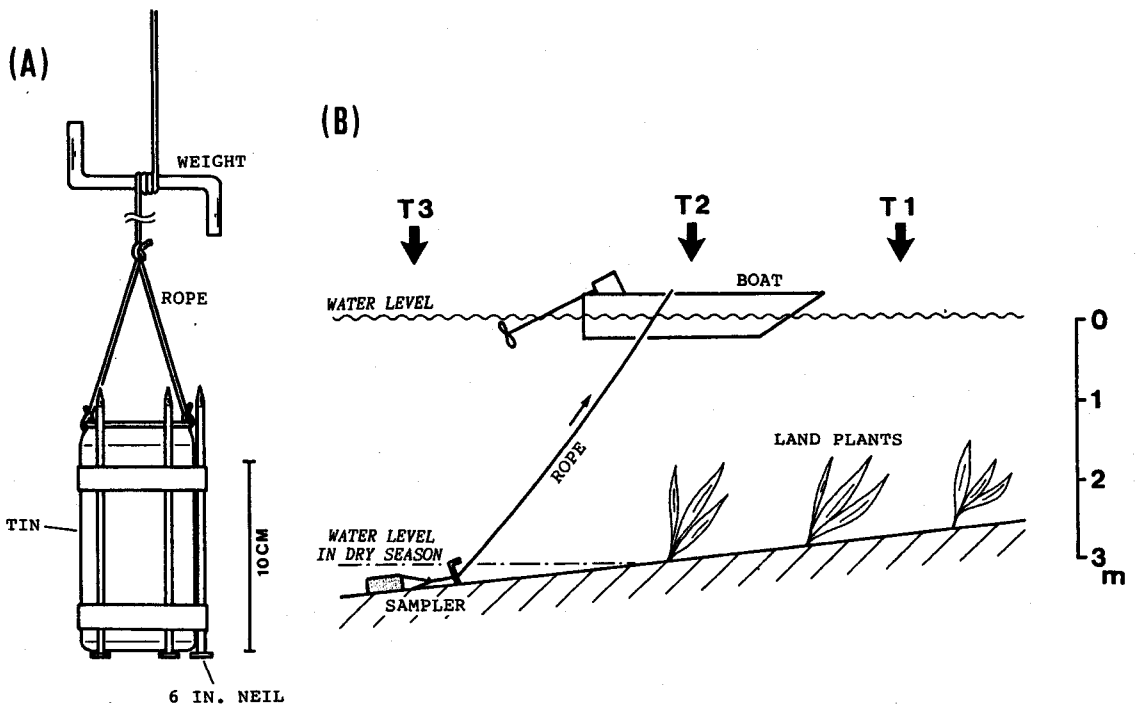


Fig. 3 採泥器具および採泥方法

泥質堆積物についてはスミアスライド (smear slide) を作成し顕微鏡観察した。砂質堆積物については、まず全試料を約60℃で24時間乾燥後に乾燥重量を測定した。その後水洗を繰り返すことで泥質分を除き去り、再乾燥後に重量を測定し含泥率を求め、残ったものを砂質堆積物として薄片を作成し検鏡した。堆積物に含まれる微小生物遺骸については、試料が解析に十分なだけ得られなかったためその概要を把握するにとどめた。

IV. 堆積物

1. トンレサップ湖

トンレサップ湖では、シェリムアップ市の約13km南にあり、湖へと通じる水路沿いのチョンクロネアス村の南方約2kmの沖合3地点(北緯13°13′, 東経103°49′)で採泥を行った (Fig. 2, Plate c)。しかし、試料が得られたのはもっとも沖合に位置する1地点 (T-3) のみで、他の2地点では陸棲植物の新鮮な葉のみが採集された。いずれの地点でも湖水は多量の泥質混濁物で黄褐色を呈し、湖水の透明度は約30cm、堆積物が得られた地点の表層水および湖底堆積物の温度はいずれも28℃、pH値はそれぞれ7.7および7.5であった。

採集された堆積物の上部約1cmは褐色 (5YR4/4) の泥から構成される。一方、下部約3cmは濃緑灰色 (5G4/1) の砂質泥で、空気に触れた試料はすみやかに酸化して数日後には淡褐色 (5YR5/4) を呈するようになった (Fig. 4)。上部褐色泥および下部濃緑灰色砂質泥の含泥率はそれぞれ98%および84%とかなり高く、堆積物組成に上下で大きな違いは認められない (Table 1)。

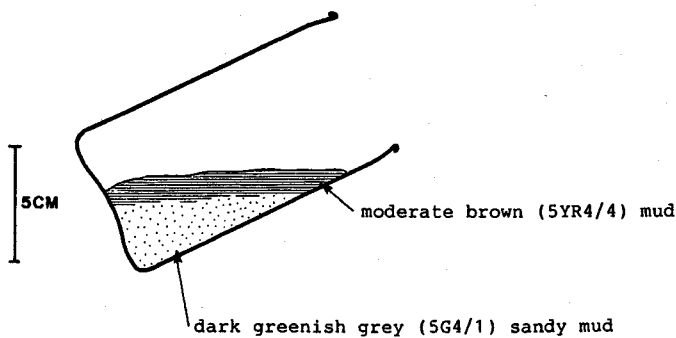


Fig. 4 採泥結果

Station	Sample Weight (dry: g)	Mud Content (%)	Water Depth (m)	Composition											Remarks
				Minerals					Biogenic materials						
				QTZ	PLG	LAT	OPQ	CLY	PLT	IST	OST	DIM	POL		
T-1	-	-	3.0	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	fresh land plants	
T-2	-	-	3.0	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	fresh land plants	
T-3 (upper)	1.8	98	3.5	A	-	-	-	A	R	-	R	C	R	moderate brown mud	
T-3 (lower)	8.1	84	3.5	A	-	R	C	A	C	R	R	C	C	dark greenish grey sandy mud	
S-1	57.2	55	0.5	A	R	R	C	A	C	-	-	-	-	light brown sandy mud	

(QTZ: quartz, PLG: feldspar, LAT: laterite, OPQ: opaque minerals, CLY: clay minerals, PLT: plant remains, IST: insect fragments, OST: ostracoda, DIM: diatom, POL: pollen; A: abundant, C: common, R: rare, -: absent)

Table 1 シェリムアップ川およびトンレサップ湖の堆積物の含泥率・
鉱物組成・生物遺骸群集組成

泥質堆積物は上下層とも黄褐色を呈する粘土鉱物が卓越し、少量の石英が含まれるほか、生物起源のものとして淡水性珪藻 (Table 2, Plate e ~ g), 花粉および淡水性海綿の骨針 (Plate d) が認められる。3種類検出された珪藻のなかで、Aulacosira granulata および Suriella splendida はいずれも淡水性種であり、前者が浮遊生活をする代表的な種であるのに対し、後者は砂泥底表面に生息する底棲種である。一方、Actinocyclus cf. normanii または Thalassiosira sp. の大部分の種は代表的な海性浮遊性種であるが、今回検出されたものはおそらく淡水域に生息する浮遊性種と思われる (以上、丸山俊明: 私信)。

砂質堆積物はほとんどが淘汰良好の極細粒砂で、不規則な形状の石英が卓越し、わずかに磁鉄鉱が含まれる。生物起源の堆積物として黒褐色の植物遺骸および昆虫の破片が比較的多量に含まれるほか、介形虫および浮遊性有孔虫がそれぞれ1個体認められた。検出された介形虫はキチン質の殻を持つ淡水性種で、殻が破損しているために種の同定は不可能であるが、殻に柔軟性が認められることから現生種である可能性が高い (石崎国熙: 談話)。一方、浮遊性有孔虫は石灰質の殻が封圧により変形していることから、化石が再堆積したものと考えられる (長谷川四郎: 談話)。

2. シェリムアップ川

シェリムアップ川の試料は市内の水深約50cmの地点で採集した (Fig. 2, Plate h)。採

集時の川水の流速は約1 m/秒で、水は多量の泥質混濁物で淡褐色を呈し、温度およびpH値はそれぞれ28℃および6.2であった。採集した川底堆積物は淡褐色(5YR5/6)を呈する砂質泥で、堆積物中に水棲植物の細根が多く見られた。試料の含泥率は55%である。泥質堆積物はおもに黄褐色を呈する粘土鉱物から構成され、少量の石英が含まれる。砂質堆積物は淘汰良好の極細粒～細粒砂で、不規則な形状の石英が卓越し、円形ないし楕円形のラテライト片および小柱状の磁鉄鉱が普通に認められる。生物起源の堆積物としては植物遺骸および昆虫の破片がわずかに含まれる(Table 1)。

V. 考 察

1. 堆積物の供給源

シェリムアップ川の上流域には砂岩・礫岩を主体とするインドシニア層(二疊紀～古第三紀)が分布するプノン・ボク、プノン・デイ、プノン・クーレンなどの小孤立山塊があり(U.S Geological Survey, 1971; Workman, 1975)、これらの地域から産出する砂岩はアンコール遺跡群の主要建造材料として用いられている(石澤, 1989)。これらの遺跡での砂岩石材の観察結果から、シェリムアップ川源流付近の岩体は雲母などの変成岩起源の鉱物をかなり含むものと推定される(塚脇・盛合, 1993a)。上流域でとくに活発な一般河川での浸食作用を考えれば、このような変成岩を起源とする鉱物がトンレサップ湖およびシェリムアップ川の堆積物に含まれるはずである。しかし、いずれの試料でも石英が卓越し変成岩起源の鉱物は認められない。トンレサップ湖の堆積物に含まれる粘土鉱物はその色彩および産状からおそらくカオリン鉱物であり、石英が卓越する粗粒部との組合せは、アンコール遺跡群の地盤を構成する沖積層(塚脇・盛合, 1993b)と同じである。シェリムアップ川の堆積物もほぼ同じ組成を呈しており、チョンクネアス村沖のトンレサップ湖の湖底堆積物は、シェリムアップ川中～下流域に分布する沖積層がおもに雨期に浸食され、湖まで運搬されて堆積したものであることを示す。すなわち、隆起準平原地域であるカンボジアでは山地の浸食はあってもわずかなものであり、トンレサップ湖北部に供給される堆積物はそのほとんどが湖周辺の沖積層を起源とするものと思われる。しかし、アンコール遺跡周辺の沖積層では一般に石英が70～90%と卓越し、カオリン鉱物が20%程度含まれる(塚脇・盛合, 1993b)のに対し、トンレサップ湖およびシェリムアップ川の堆積物では含泥率に示されるように泥質堆積物であるカオリン鉱物の含有量がきわめて高い。比較的大きな粒径をもつ石英は細粒のカオリン鉱物

に比べ運搬されにくいものであるが、雨期におけるシェリムアップ川の流速は砂質堆積物を運搬するに十分なものである。このような差が生じた原因として河川による浸食作用が単純に川床あるいは川岸を浸食する機械的なもののみでなく、地下水による洗脱作用によって地盤から多量のカオリン鉱物が選択的に洗い出されているためと思われる。

2. 湖底堆積物に記録された年変化

今回得られた約4 cm厚のトンレサップ湖の堆積物中には下位の濃緑灰色砂質泥とそれを覆う厚さ1 cmの褐色泥とが確認できた。採泥時の雨期の湖水には多量の黄褐色泥質物が混濁しており、上部褐色泥は砂質堆積物をほとんど含まないことからこの混濁物が湖底に沈積したものであることは明らかである。一方、下位の濃緑灰色砂質泥は比較的多量の植物遺骸を含み、その色彩から堆積物がある一定期間還元的環境にあったことが示され、おそらく堆積速度が低下する乾期での堆積物であると思われる。以上の観察結果からトンレサップ湖底には乾期と雨期とで異なった特徴をもつ堆積物が厚さ数cmの層をなしていることが推定される。

3. 微小生物群集

(1) 介形虫・珪藻・花粉

トンレサップ湖の試料には環境の指示者となりうる生物起源の堆積物として介形虫・珪藻および花粉が含まれる。介形虫はあらゆる水域および一部の陸域に生息する体長0.5~4 mm程度の節足動物で、さまざまな種が水質・底質・水深などに応じて棲みわけている。介形虫は軟体部を包む石灰質あるいはキチン質の背甲が遺骸となったのちも堆積物中に保存され、淡水性種はその生息時の環境とくに水深・底質を反映することが多い(石崎, 1976)。また、珪藻はあらゆる水域に生息する単細胞の藻類であり、塩分濃度・pH・温度・各種の無機塩類などに鋭敏に反応して生活している。珪藻は珪質の殻壁のなかに原形質を包み込んでいるため、枯死して遺骸となったのちもその殻は堆積物中に保存されることが多い。とくに淡水性珪藻は水の温度・pHに影響されるほか、流れの強弱や栄養の貧富に強く支配され、種構成からその生息した当時の水質を知ることが可能である(小泉, 1976)。一方、花粉は物理・化学的にきわめて強靱な物質でできており、堆積物中に保存される機会が多いことから、堆積物に含まれる花粉組成を調べれば、その堆積物が形成された当時の植生を推定することができる。

(相馬, 1976)。

今回の調査で現生の介形虫・珪藻および花粉をトンレサップ湖の湖底堆積物中に検出することができた。介形虫および珪藻は湖の水質・底質などの環境を反映するものであり、シェリムアップ川の堆積物から検出されなかったことから湖に生息するものであることはほぼ明らかである。また花粉からは間接的に湖周辺の植生を探ることができる。現在の湖底堆積物からこれらの微小生物遺骸の存在が確認され、とくに珪藻については3種類ながら底生および浮遊性の種を検出できたことで、湖および湖を取り巻く地域の歴史的な環境ならびに気候の変遷を解明する手がかりをうることができたといえよう。

(2) 海綿骨針・浮遊性有孔虫

トンレサップ湖の試料には海綿骨針が普通に含まれている。海綿骨針とは海綿動物の骨格を形成する珪質・石灰質の骨片であり礁や堆など海域の堆積物に含まれることが多く(岩淵, 1977)、淡水ではきわめて珍しい存在であるとされる(丸山俊明: 私信)。しかし、今回の発見は明らかに海綿が淡水湖であるトンレサップ湖に生息することを示す。海綿のほかにトンレサップ湖からはさまざまな海棲魚類の生息が知られており(ラオ, 1991)、このような海棲生物の存在は過去(おそらく氷河期)にトンレサップ湖が海と密接に連絡していた時期があったことを示唆する。また淡水性海綿は、今後の研究の進展にともないほかの微小生物同様環境変化の指示者として使用できる可能性がある。

トンレサップ湖の試料から浮遊性有孔虫化石が1個体検出された。有孔虫は海域に生息し石灰質の殻壁をもつ単細胞動物で、浮遊性種は進化速度が早いことから地質時代を区分する重要な示準化石として用いられる(高柳, 1976)。今回検出した個体は現在の湖に生息するものではなく、シェリムアップ川上流域に分布する上部インドシニア層から洗い出された化石が湖に運ばれたものであり、これは殻に続成作用による変形の痕を残していることから明らかである。しかし、この発見はカンボジアに浮遊性有孔虫を含む岩体の存在を明示しており、浮遊性有孔虫のもつ地質学的な有効性を考えると、カンボジアでの将来的な地質調査・探鉱への大きな貢献が期待できる。

VI. 今後の課題

1. トンレサップ湖の堆積物には湖周辺に分布する沖積層に比べ多量の粘土鉱物が含ま

れ、地下水によりシェリムアップ川流域において地盤の細粒物質が洗脱されていることが示唆された。洗脱作用は地盤の強度劣化を引き起こす要因のひとつであり、アンコール遺跡群における地盤沈下を解明するうえでも重要な問題である。今後、アンコール遺跡周辺の水系、とくにシェリムアップ川の水質および底質について系統的かつ定期的な調査を行い、洗脱による細粒物質の流出がどの程度なのか定量的に把握する必要がある。

2. トンレサップ湖には雨期と乾期とで異なった特徴をもつ堆積物が層状に堆積している可能性が高く、これは湖底堆積物から年単位で時間を読み取れることを示している。この存在を確かなものとするには気候変遷および環境汚染問題を議論する上で重要であるのみならず、湖の堆積速度を明らかにし、農地開拓などにかかわる湖の埋積問題を解決する糸口となりうるものである。そこで、まずもっとも簡便な採泥器であるフレーガー式柱状採泥器 (Phleger, 1951) を用いて長さ 1 m 程度の柱状採泥を行い、層状構造の有無およびその厚さを確認すべきである。
3. トンレサップ湖の堆積物には湖の底質および水質を反映する介形虫および珪藻が含まれ、これらを用いることで環境汚染の現状を知ることができる。そこで、トンレサップ湖全域および周辺水域で表層採泥を行い、現在における介形虫および珪藻の分布を明らかにすることが望まれる。
4. トンレサップ湖の現生堆積物からの介形虫・珪藻および花粉の検出は、過去の堆積物中にもこれらの遺骸が含まれる高い可能性を示す。そこで、柱状採泥を行い過去の堆積物に含まれるこれらの群集組成を調べることで、湖および周辺地域における環境変化の時代を遡っての復元が期待される。さらに柱状採泥からは過去における台風や洪水など諸現象の解明も可能であり、インドシナ半島における諸文明の盛衰と気候・地質的突発現象との関係解明が期待できる。また、西バライおよび東バライはアンコール遺跡群と同時期の人造湖であり、浚渫などが行われていなければ同様の調査対象になりうると考えられる。
5. トンレサップ湖の試料に普通に認められる海綿骨針は淡水ではきわめて珍しいものであり、湖の生い立ちをひもとく鍵となる可能性がある。これに関して生物学的な調査研究が期待される。

Ⅶ. まとめ

1. トンレサップ湖およびシェリムアップ川において堆積物を採集し、その組成を記載した。
2. 遺跡地盤からの細粒物質の選択的洗脱を示した。
3. トンレサップ湖の堆積物に含まれる介形虫・珪藻および花粉を用いた古環境ならびに古気候解明の可能性について述べた。
4. トンレサップ湖に淡水性海綿の生息を示した。
5. カンボジアに浮遊性有孔虫を含む岩体の存在を示した。

参考文献

- Goddard, E. N., Trask, P. D., de Ford, R. K., Rove, O. N., Singewald, J.T., Jr. and Overbeck, R. M., 1951, Rock-Color Chart. Geol. Soc. America.
- 石崎国熙, 1976, 貝形虫類。浅野清編「微古生物学, 下巻」, 朝倉書店, 東京, p. 1-53.
- 石澤良昭, 1989, アンコール・ワット。日本テレビ, 東京, 186p.
- 岩淵義郎, 1977, 海綿。「地学事典第4版」, 平凡社, 東京, p. 172.
- 小泉 格, 1976, 珪藻。浅野清編「微古生物学, 中巻」, 朝倉書店, 東京, p. 138-228.
- ラオ・キム・リェン, 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)第6次アンコール遺跡および伝統文化復興の研究・調査, 上智大学アジア文化研究所, p. 1-11.
- Mitusio, H., Ohno, M. and Meas, S. A., 1970, Limnological investigation of the Mekong Water System, Cambodia. Res. Rep. Kochi Univ., vol. 19, Natural Science, no. 6, p. 59-68.
- 国立天文台編, 1992, 理科年表 第65冊。丸善, 東京。
- Phleger, F. B., 1951, Ecology of foraminifera, north western Gulf of Mexico, Part 1. Geol. Soc. America Mem., vol. 46, p. 88.
- 相馬寛吉, 1976, 花粉・包子。浅野清編「微古生物学, 下巻」, 朝倉書店, 東京, p. 54-106.
- 高柳洋吉, 1976, 有孔虫。浅野清編「微古生物学, 上巻」, 朝倉書店, 東京, p. 34-200.
- 塚脇真二・盛合禧夫, 1993a, アンコール遺跡群における砂岩石材の配置様式 -堆積学の視点から-。カンボジアの文化復興(8)第8次アンコール遺跡および伝統文化復興の

研究・調査, 上智大学アジア文化研究所 (本巻)。

塚脇真二・盛合禧夫, 1993b, アンコール遺跡群における地盤および地下水—とくにアンコール・トム バイヨンについて—。カンボジアの文化復興(8)第8次アンコール遺跡および伝統文化復興の研究・調査, 上智大学アジア文化研究所 (本巻)。

U. S. Geological Survey, 1971, Geological map of Cambodia showing location of lithologic sections, scale 1 : 1,000,000. United State Department of the Interior, Geological Survey,

Workman, D. R., 1975, Geological structure of the Indochina Peninsula. Regional Conf. Geol. Mineral Res. Southeast Asia, Jakarta. 佐藤正訳, 1979, インドシナ半島の地質構造。都城秋穂編: 岩波講座「地球科学16」, 岩波書店, 東京, p. 385-398.

図表類の説明

- a : 空からみたトンレサップ湖。河川が運搬した堆積物が三角州 (矢印) を形成している
- b : 採泥器 (矢印)
- c : 採泥地付近のトンレサップ湖
- d : トンレサップ湖の堆積物に含まれる淡水性海綿の骨針 (スケールバーの長さは10 μ)
- e : ~ f : トンレサップ湖の堆積物に含まれる珪藻 (鑑定・撮影: 山形大学教養部丸山俊明助教授: スケールバーの長さはいずれも10 μ)。
- e : Aulacosira granulatae (Ehrenberg) Simonsen
- f : Suriella splendida (Ehrenberg) Kutzing
- g : Actinocyclus cf. normanii または Thalassiosira sp.
- h : 採泥地付近のシェリムアップ川

