調査報告

カンボジア・トンレサップ湖岸北西部の地形 The Landforms in the Northwestern Lake Tonle Sap, Cambodia

深野 麻美・春山 成子・桶谷 政一郎

FUKANO Asami, HARUYAMA Shigeko and OKETANI Seiichiro

カンボジア・トンレサップ湖岸北西部は、アンコール王朝期より地形面の人為改変を受けているが、地形面特性については明瞭に理解されていない。本稿では、現地調査、空中写真、SRTM データをもとに湖岸地域の地形分類を行った。この地域は扇状地、砂堤、湖岸段丘Ⅰ・Ⅱ、湖岸湿地に分類できた。また、ボーリング試料から人為改変を受けた湖岸平野の地形変化についても検討した。湖岸段丘の一部では、アンコール王朝期の河道変更の影響を受けて、自然堤防が形成されたことが示唆された。

In the northwestern shore of Lake Tonle Sap which lies in central Cambodia, there are many archaeological sites during Angkor kingdom era, and human activities, for example engineering works for temple construction, are expected to have disturbed the environment on this area. However, detailed studies of depositional environments have not been carried out. The purpose of this study is to examine the landforms in this area by using aerial photos and SRTM3 data, and the development of landforms including historic times by describing all the core bore-hole data. This area can be classified into alluvial fans, sand ridges, two lacustrine terraces and lacustrine marsh, and the results suggest that some natural levees on lacustrine terraces were formed by changes of the river course in Angkor period.

キーワード： トンレサップ湖，地形分類，ボーリングコア，地形変化

Key words: Lake Tonle Sap, geomorphological classification, drilling cores, landform development

I はじめに

メコン川は中国，ミャンマー，タイ，ラオス，カンボジア，ベトナムの 6 カ国を流域にもつ流路長 4,600 km，流域面積 7,955 千 km²，年間総流出量 4,750 億 m³ の国際河川である（堀 1996）。中～下流域はモンスーン地帯に属し，雨季と乾季で流量変化が大きい。また，プノンペン北東部でトンレサップ川を介しメコン川に連携されるトンレサップ湖（図 1）でも乾季にメコン川本川へ順流，雨季にメコン川洪水がトンレサップ湖に逆流し，メコン川の洪水調節機能をもっている（藤井 2004；春山・大矢 1990）。メコン川はカンボジア南東部と

ベトナム南部にメコンデルタを形成すると，南シナ海に流出する。トンレサップ湖の平均水位と湖面積は乾季（12 月～4 月）で約 1.3 m，約 2,200 km²，雨季（5 月～11 月）で約 9.1 m，約 13,000 km² であ

図 1 トンレサップ湖の位置

Figure 1 Location map of Lake Tonle Sap

表1 トンレサップ湖の水文概況
Table 1 The hydrological data in Lake Tonle Sap

	Water level (m)		Lake area (m ²)		Lake volume (km ³)	
	High	Low	High	Low	High	Low
Max	10.36	1.48	15278	2402	76.05	1.83
Min	6.86	1.19	9637	2061	33.00	1.35
Ave	9.11	1.34	13218	2237	59.56	1.59

Summary of the hydrological data in Lake Tonle Sap during the years 1997 - 2004

(Modified from Dirk et al. 2006)

る (Dirk et al. 2006; 表 1).

同湖の自然環境変化について、Lee (2001) は湖底堆積物の花粉分析結果から、約 9500 cal yr BP に寒冷な気候からモンスーン気候に変化し始めたことを示した。メコンデルタは完新世の海水準変動の影響により (斎藤 2005), 約 8400~6300 cal yr BP の海進最盛期にはカンボジア領メコンデルタまで海岸線が及んでいた (Tamura et al. 2009; Hori et al. 2007). タイ湾では約 8500~6800 cal yr BP は現在の海水準より高く、その後徐々に低下して現在の

海水準に至ったとされる¹⁾ (Somboon and Thiramongkol 1992) .

Japan International Cooperation Agency and the Ministry of Public Works and Transport (1999; 以下 JICA and MPWT) では、湖北西地域を沖積扇状地とデルタに分類し (図 2), この地域の河道変更が大きいことが示されている (春山 2000). 土地被覆変化は河川環境変化を促し、湖沼への土砂供給量にも影響を与えたと考えられるが、トンレサップ湖岸平野の地形面特性は不明な点も多く、アンコール地域と現湖底面の間にある湖岸の低地部分での地形発達史に関する研究は行われていない。さらに、地形の形成過程を明らかにする上で必要とされる地形分類についても、この地域の詳細なものは未だ作成されていない。本研究では現地調査、空中写真、SRTM データをもとに地形分類を行った上で、ボーリング試料を用いて人為改変を受けた湖岸平野の地形変化を明らかにしたい。

図2 トンレサップ湖岸地域の地形・地質概要図

Japan International Cooperation Agency and the Ministry of Public Works and Transport(1999)より一部抜粋し、凡例を翻訳した。原文は英語である。

Figure 2 Geomorphology and geology of Lake Tonle Sap (excerpted from Japan International Cooperation Agency and the Ministry of Public Works and Transport (1999))

Legend is translated into Japanese by the authors. Original text is written in English.

II 研究対象地域の地理的背景

トンレサップ湖周辺の第四系は湖に向かって緩く傾斜する平原地帯を成しつつ、東西性の船底型構造を呈し、局所的に火成岩が露出する（盛合・松村 2001; Geological Survey of Vietnam 1991）。同湖岸北西地域の地形の概要は、沿岸から北に向かい湿地、低平地、沖積錐、ベディメントがクーレン山まで続き、シェムリアップ川には緩勾配扇状地が形成されている（日本政府アンコール遺跡救済チーム（JSA）1996）。シェムリアップ川やロリュオス川はクーレン山麓から南流して湖に流入する河川であるが、河口付近の湖底には泥層が湖底面より少なくとも約 0.5 m 続いている（Penny et al. 2005）。また、5500 cal yr BP より雨季と乾季による湖の水位変動が開始したが（Penny 2006）、湖岸低地の地形特性は明瞭に理解されていない。

本研究の対象地域は、アンコール遺跡群からトンレサップ湖北部までの $13^{\circ} 10' N \sim 13^{\circ} 30' N$, $103^{\circ} 47' E \sim 104^{\circ} 00' E$ の範囲（図 2）で、低平地や湿地が卓越する典型的なトンレサップ湖岸平野を包有する。

III 研究手法

本研究では、以下の分析手法をとった（図 3）。

1. データ

本研究で使用したデータは以下の 5 種類である。

1) SRTM3-DTED

Shuttle Radar Topography Mission データ（SRTM）は NASA により 2000 年 2 月に合成開口レーダにより計測された地形データで、SRTM3-DTED（Digital Terrain Elevation Data）は C バンド、3 秒メッシュ（約 90 m）のもので、海面を平坦化する等の処理がされている。バライ（人工堤）や道路、集落等を比較的良く反映していることを地形図と現地において確認した上で、このデータの標高値のリサンプリングを用いて地形断面図及び河床縦断面図を作成し、地形面勾配を求めた。

SRTM-3 のデータ精度は、想定されていたよりも優れ（Rodriguez et al. 2005）、2.5 万分の 1 の地形図に相当するとされている（Jarvis et al. 2004）ため、現地に現存する地形図よりも精緻に地形面を把握できる利点がある。一方で、樹冠高がデータに反映しているとされ（Sun et al. 2003）、そのノイズを

図 3 本研究のフローチャート
Figure 3 Flow of this study

考慮する必要がある。

2) SPOT-1~3 データ

SPOT-1~3 は 1986 年, 1990 年, 1993 年にフランスが打ち上げた衛星で, 搭載されているセンサは HRV-P で可視域を撮影する。回帰日数 26 日, 空間分解能 10 m, 観測幅約 60 km である。本研究では, オルソ補正済みデータを地形分類図作製の高精度基図として用いた。

3) 航空写真

FINNMAP 社が撮影した縮尺 2 万分の 1 のパンクロマティック画像で, 乾季の 1992 年 12 月または 1993 年 2 月に撮影されたものを, 地形分類図作製に用いた。

4) 10 万分の 1 地形図

JICA and MPWT (1999) が SPOT 画像・航空写真を基に 1996 年 11 月から 1997 年 3 月に作製したものである。

5) Hydrographic Atlas Mekong River in Cambodia

Mekong River Commission, and Ministry of Public Works and Transport (1999; 以下 MRC and MPWT) が作製したトンレサップ湖底測深図データで, 縮尺は 10 万分の 1 である。

2. 地形分類図の作製

トンレサップ湖岸平野の地形面区分にあたり SRTM3-DTED の標高値リサンプリングで各測線の地形断面図を作製した (図 4)。その際, 人工堤防や道路, 集落の標高を現地で検討し補正した。また, ロリュオス川, シェムリアップ川の河床縦断面と地形面勾配を求めた。測量範囲を図 5 に示す。

A'-A'' の湖底断面図は MRC and MPWT (1999) を基にポータブル測深器 (本多電子社, PS-7) で現地測深測量を行い作製した。測量は高湖水面期の 2005 年 8 月 30 日, 2006 年 8 月 29・30 日に行った。位置の測定は, ハンディ GPS (Garmin 社, eTrex vista) を用いた。全長 15 km の測線上において 100 m おきに測深を行い, 同一箇所でも 5 回計測し, 最大値と最小値を除外した計測値を平均した。

また, 雨季と乾季 (2006 年 8・12 月, 2007 年 6・8 月) に湛水深計測と洪水聞き取り調査, リモートセンシングデータのグランドトゥルース, 22 地点

での簡易ボーリング調査ならびに 10 m オールコアボーリング調査を行った (図 4)。ボーリングコアは堆積相および色相の記載, 粒度分析, 粘土混濁水の電気伝導度 (EC) と pH の測定を行った。粒度分析にはレーザー回析分散型粒度分析装置 (島津製作所, SALD3000S) を用い, 粒度分析結果は SALLREADER が算出した統計値で 25%, 50%, 75% の ϕ スケールを使用した。粘土混濁水の EC および pH の測定方法は横山・佐藤 (1987) によった。それによると, EC が約 $400 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下かつ pH が 6.0~7.0 である場合に淡水域であるとされている。

以上の結果および, 航空写真の地形判読により, 河成地形面, 湖成地形面, 高位地形面, その他に大分類し, これらの地形面を表 2 の通りにさらに分類した。

図 4 地形測線範囲(A-A', B-B', C-C'), 湖底面測深範囲(A'-A'')およびボーリング掘削地点

Figure 4 Location map of topographic relief sections (A-A', B-B', C-C'), the bottom relief section of Lake Tonle Sap (A'-A'') and borehole sites

3. 年代測定

(株)パレオ・ラボで、加速器質量分析法 (AMS) を用いた ^{14}C 年代測定法による堆積物の年代測定を行った。得られた ^{14}C 濃度について同位体分別効果の補正を行った後、 ^{14}C 年代、暦年代を算出した。 ^{14}C 年代 (^{14}C yr BP) の算出には、 ^{14}C の半減期として Libby の半減期 5568 年を使用し、 ^{14}C 年代の暦年較正には CALIB5.0.1 (Stuiver and Reimer 1993) (較正曲線データは INTCAL04; Reimer et al. 2004) を使用した。 ^{14}C 年代誤差 ($\pm 1\sigma$) は、測定の統計誤差、標準偏差等に基づいて算出され、試料の ^{14}C 年代がその ^{14}C 年代誤差内に入る確率が 68.2%であることを示すものである。また、 1σ 暦年代範囲は確率法を使用して算出された ^{14}C 年代誤差に相当する 68.2%信頼限界の暦年代範囲であり、同様に 2σ 暦年代範囲は 95.4%信頼限界の暦年

代範囲である。カッコ内の百分率の値は、その範囲内に暦年代が入る確率を示している。

IV 結果

1. 地形分類結果

測線の地形断面図及び勾配を図 5 に、対象地域の地形判読結果を図 6 に示した。トンレサップ湖北西地域は開析谷、山麓緩斜面、扇状地 I、扇状地 II、自然堤防、後背湿地、三角州、湖岸地形に分類でき、さらに湖岸地形は砂堤、湖岸段丘 I、湖岸段丘 II、湖岸湿地に細分できる。地形面勾配は 1.6/1000 未満と小さい。湖岸段丘 II は湖水位が年間最大の雨季末期 (9 月～11 月上旬) に冠水する (水深約 2 m)。

主な地形特性は次の通りである。アンコールワ

表 2 トンレサップ湖岸北西部の地形分類項目
Table 2 Geomorphological classification in the northwestern Lake Tonle Sap

大分類	地形の名称	地形面の特徴
河成地形面	開析谷	地形面を下刻 (開析) する谷で、標高は周辺地域より低い。
	扇状地 I	完新世中期以前に形成されたと思われる扇状地面。現在は開析が進み、開析の進んだところでは雨季に内水氾濫が起こる。
	扇状地 II	完新世中期以降に形成したと思われる扇状地面。扇状地 I より標高が高く、内水や洪水による氾濫もない。
	自然堤防、後背湿地	小規模な自然堤防や後背湿地が発達しているのと同時に、流入河川による開析も見られる特殊な地形。扇状地 II の下流域に形成されている。
	三角州	河川の最下流部に位置し、雨季に湖水面下となる。自然堤防地帯と遷移的につながっている。
湖成地形面	砂堤	湖岸に平行して堤状に発達している微高地。洪水や湖水位上昇による冠水はない。
	湖岸段丘 I	湖岸に沿い、平坦面と比較的急な斜面で構成される高位の地形面。異常洪水時に一時的に冠水する。
	湖岸段丘 II	湖岸に沿って平坦面と比較的急な斜面で構成される。湖面は年間最大水位時に冠水する。
	湖岸湿地	乾季に離水する湿地。年間の半年以上は湖水面下で、浸水林がある。
高位地形面	孤立丘	堆積面上に突出する丘陵上の地形。この地形面の平均標高は約 100m～200m。
	台地	比較的高度が高く、河川による浸食が進んでいる地域。前縁はこれよりも傾斜の緩い扇状地 II が続く。
	山麓緩斜面	山地の麓にある緩斜面で、この地形面の前縁に扇状地が形成される。
その他	人工改変地	切土地や盛土地などの人工的な改変地であり、分類の判別が困難な地域。遺跡群や市街地が立地している。
水面	河道	恒常的に流水がある河道。
	旧河道、河道 (雨季のみ)	かつての河道であり、雨季の増水時のみ流路となるところもある。
	バライ、貯水池	バライは、地面を掘らないで低地に堤を囲んだ大規模な貯水池。貯水池は、地面を掘って作られた小規模なもので、トラベアンともいう。恒常的に流水がある。
	バライ、貯水池 (雨季のみ)	降水量の多い雨季に貯水池となる。

ット遺跡群の北東部にある山麓緩斜面の東側には地盤標高 25 m～35 m を示す段丘があり、その前縁にある扇状地は開析が進んでいる。この地域の地形勾配は 0.9/1000 である。扇状地 II は、ロリュオス川扇状地とシェムリアップ川扇状地に分類でき、ロリュオス川の下流側には自然堤防が発達している。これらの現河道に並行して 40 m～50 m の谷幅をもつ旧河道帯があり、現在の氾濫原には小規模な貯水池（バライ）も点在しており、これらの地形面は水田として利用されている。シェムリアップ川扇状地には主たるアンコール王朝期の遺跡の集合体であるアンコールコンプレックスが立地し、扇状地 II に被覆されている。扇状地 I の地盤標高は約 15 m～25 m で南向きの傾斜を示し、地形勾配は 1.0/1000 である。シェムリアップ川の旧河道帯の幅は 100 m～200 m である。

地形面は、下流方向に向けて扇状地末端から自然堤防地帯へ遷移し、湖岸段丘 I まで続く。自然堤防は小規模であり、ここでの旧河道帯の幅は約 50 m、シェムリアップ川、ロリュオス川に沿う自然堤防の地形勾配は各々 1.6/1000、1.3/1000 である。三

角州との境界線は不明瞭である。シェムリアップ川三角州は鳥趾状、ロリュオス川三角州は弧状を示しており、勾配はシェムリアップ川で 0.5/1000、ロリュオス川で 0.9/1000 である。湖岸段丘 I は地盤標高約 10 m～15 m で、前縁は緩斜面で湖岸段丘 II に接し、勾配が 0.8/1000、湖岸段丘 II との比高は 2 m である。湖岸段丘 I 上には湖岸線に並行する砂堤が形成されており、湖岸段丘 I との比高は約 1 m である。湖岸段丘 II の地盤標高は約 8 m～10 m で、湖面が年最高水位となる時（9 月～11 月上旬）には冠水する。地形面勾配は 0.6/1000、緩斜面で湖岸湿地と接する。湖岸湿地の地形勾配はなく、雨季に湖水面下、乾季に排水不良な湿地となり、浸水林が自生している。雨季開始の 6 月から 12 月の 6 ヶ月以上が湖水面下となり、水深は最大で 5～7 m である。測線 A'-A'' の湖底面測深データでは傾斜のない平坦な湖底面が認められ、傾斜 3.6/1000 で湖岸湿地に遷移している。

2. 地形面と表層地質

測線 A-A' の地形面の表層地質を図 7 に示す。扇

図 5 トンレサップ湖岸北西部の各地形面の標高断面図及び勾配（グラフ内の数値）

左図は各地形面勾配の測量範囲を示す。

Figure 5 Topographic relief sections and slope gradient in the northwestern shore of Lake Tonle Sap

Each location is shown in the left figure. Slope values are shown in the graphs.

状地Ⅰの表層は細～中粒砂層, 褐灰色シルト質砂層と赤褐色粘土質中粒砂層で覆われている。旧河道 (No. 7) は扇状地面と比べ砂層の粒度が粗い。自然堤防 (No. 22) では, 層厚 0.30 m の褐色シルト層の下位に葉状構造の見られる厚さ 1.60 m の細粒砂層が堆積している。この細粒砂層の下位には, 層厚 0.20 m の粘土層と極細粒砂層の互層が 2.05 m 深まで続いている。砂堤は表層より耕作土が 0.20 m 深まで続き, その下位では淘汰の良い固くしまった黄褐色中砂層が 1.40 m 深まで続く。湖岸段丘Ⅰでは表層より粘土質砂層, 砂質粘土層, 粘土質砂層, 粘土質シルト層が続く。湖岸段丘Ⅱは表層より

粘土質砂層, 砂質粘土層, 粘土質砂層, シルト質粘土層が続き, 0.40～0.50 m 深に鉄酸化物が凝集している。湖岸湿地は粘土層が露出しており, この層の下位に粘土質砂層が続いているが, 泥炭を混じえている。また, No. 16 の 0.65 m 深の砂質粘土層に含まれている炭素成分の暦年較正年代は, 1280 - 1220 cal yr BP であった。三角州 (No. 19) は表層が砂層, 粘土層で覆われ有機物炭素を含んでいる。

3. 10 m 深オールコアボーリング分析結果

2 本のオールコアボーリングの分析結果を図 8

図6 トンレサップ湖北西部の地形分類図

点はボーリング地点, A-A'は地形測線を示す。

Figure 6 Geomorphological map in the northwestern shore of Lake Tonle Sap
Closed circles show drilling sites, and A-A' is a topographic relief section.

に示す。

1) KT コア

掘削地点の地盤標高は 12 m で湖岸段丘 I 上にある。年代測定結果から 4 堆積相に区分したが、完新世以降の堆積相においては年代測定値が少ないため粒度と色相も含めて区分した。完新世より前の堆積層に相当する堆積相 i については記載および議論を簡潔にするため、同一の相に区分した。KD コアについても同様とする。

堆積相 i (3.25~10.00 m 深)：シルト質中粒砂層で中粒砂層が挟在し、淘汰が悪い。色相は褐灰色である。EC は $5\sim 15\ \mu\text{S/cm}$ 、pH は 6.1~6.6 である。8.30 m 深以下で粘土質シルト層に変化し、7.50 m 深でシルト質細粒砂層、6.50~6.75 m 深で細~中粒

砂層、4.25 m 深にシルト質細粒砂層を挟む。この相の EC は $5\sim 15\ \mu\text{S/cm}$ 、pH は 5.9~6.5 で全体的に低い。堆積相 i 最上部の 3.35 m 深での暦年較正年代は 19480 - 19180 cal yr BP である。また、7.05 m 深、8.35 m 深での暦年較正年代は 17000 - 16260 cal yr BP、16670 - 15920 cal yr BP である。

堆積相 ii (1.80~3.25 m 深)：シルト質中粒砂層または細~中粒砂層で、0.80 m 深、2.20 m 深に極粗粒砂層を挟み、2.30 m 深、3.05 m 深に粘土質シルト層・シルト質細粒砂層が認められる。色相は灰褐色で黄褐色斑紋が認められる。EC は $5\sim 15\ \mu\text{S/cm}$ で、pH は 6.1~6.5 で堆積相 i と同様である。

堆積相 iii (1.00~1.80 m 深)：シルト質細~中粒砂層で、淘汰が悪い。色相は灰褐色で赤褐色斑

図7 トンレサップ湖北西部の地形・地質断面図

測線及びボーリング地点は図7に示した。KT及びKDコアは6.00 mまで記載。

Figure 7 Cross section of cores along A-A' in the northwestern Lake Tonle Sap

Topographic relief section and boring sites are shown in Figure 7. KT and KD cores are described till-6.00 m.

図8 10 m オールコアボーリング (KT と KD) の柱状図および ϕ スケール, EC, pH の測定結果
 Figure 8 Stratigraphic columns of all core bore-hole data (KT and KD) and results of ϕ scale, EC and pH

紋が多く認められる。EC, pH は $5\sim 15\ \mu\text{S/cm}$, pH は $6.1\sim 6.6$ で、堆積相 i に近似している。

堆積相 iv (0.00~1.00 m 深)：淘汰の良い中粒砂層で、EC は $5\sim 15\ \mu\text{S/cm}$, pH は $6.5\sim 6.9$ である。

2) KD コア

掘削地点の地盤標高は 18 m で扇状地 II 上にある。記載・分析結果から 4 堆積相に区分した。

堆積相 i (4.80~10.00 m 深)：6.20~10.00 m 深は中粒砂層とシルト質細砂層の互層、6.20~8.30 m 深は斑紋が多い。EC は $5\sim 15\ \mu\text{S/cm}$, pH は $6.1\sim 6.5$ である。7.75 m 深での暦年較正年代は 14930 - 14250 cal yr BP である。4.80~6.20 m 深は礫混じり粗砂で約 1 cm の角礫を混入している。

堆積相 ii (-2.20 m~4.80 m)：細~粗粒砂層で、2.90 m 深にシルト質中粒砂層を挟む。EC は $5\sim 15\ \mu\text{S/cm}$, pH は $6.0\sim 6.9$ で、2.90~3.20 m 深で pH 値が低下する。

堆積相 iii (1.30~1.90 m 深)：シルト質細粒砂層で、1.80 m 深で粘土質シルト層を挟む。淘汰が悪い。EC は $5\sim 15\ \mu\text{S/cm}$, pH は $6.3\sim 7.0$ である。1.55 m 深での暦年較正年代は 5050 - 4880 cal yr BP である。

堆積相 iv (0.50~1.30 m 深)：淘汰の悪い中粒砂層で、EC は $5\sim 15\ \mu\text{S/cm}$, pH は $6.5\sim 7.0$ である。

4. 年代測定結果

年代が得られた 9 試料の ^{14}C 年代測定値および暦年較正年代を表 3 に示す。

No. 14 (湖岸湿地) の 1.35 m 深に含まれている炭素成分の暦年較正年代は、3840 - 3700 cal yr BP である。No. 22 (自然堤防) の 1.60 m 深に含まれる炭素成分の暦年較正年代は 800 - 870 cal yr BP であった。

V 考察

トンレサップ湖岸北西地域の地形面および堆積物から、湖水準変動と地形変化を検討した(図 9)。

KT および KD のすべての相で EC は $5\sim 15\ \mu\text{S/cm}$ で変わりがなことから、淡水の堆積環境下であったと判断される。

湖岸段丘 I と湖岸段丘 II の地下地質は砂層の下部にシルト層、粘土層があることから、両地形面の表層にある砂層は砂堤堆積物である。湖岸段丘 II 上の KT の堆積相 iv も淘汰の良い砂層で、砂堤上の表層堆積物に近似する。湖岸段丘 I と湖岸段丘 II の砂層に続く粘土層は、湖岸湿地表層で共通して見られることから、湖成堆積層と判断される。

KT の堆積相 iii は淘汰が悪いシルト質細~中粒砂層で粒度、色相、斑紋が湖岸湿地表層地質に共通している。KT コアの堆積相 i と堆積相 ii の境界付

表 3 ^{14}C 年代年代測定結果
Table 3 ^{14}C ages of core sediments

Site	Depth [m]	Lab No.	Material	Measured age [yr BP $\pm 1\sigma$]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	Conventional age [yr BP $\pm 1\sigma$]	Calibrated age [cal yr BP] 1 σ range (probability)	Calibrated age [cal yr BP] 2 σ range (probability)
KT	3.35-3.40	PLD-8409	sediments	16190 $\pm$ 60	-26.50 $\pm$ 0.22	16185 $\pm$ 56	19450 - 19300	19480 - 19180
	7.05-7.10	PLD-7264	sediments	13960 $\pm$ 50	-25.27 $\pm$ 0.25	13959 $\pm$ 48	16840 - 16440	17000 - 16260
	8.35-8.40	PLD-7263	sediments	13655 $\pm$ 45	-22.92 $\pm$ 0.15	13655 $\pm$ 46	16440 - 16060	16670 - 15920
KD	1.55-1.60	PLD-8749	sediments	4415 $\pm$ 20	-25.32 $\pm$ 0.17	4416 $\pm$ 22	4900 - 4890 (1.8%) 4930 - 4920 (1.2%) 5040 - 4960 (97.0%)	5050 - 4880 (97.5%) 5210 - 5200 (2.5%)
	4.55-4.60	PLD-7265	sediments	12335 $\pm$ 40	-24.31 $\pm$ 0.19	12334 $\pm$ 42	14360 - 14110	14620 - 14060
	7.75-7.80	PLD-7266	sediments	12495 $\pm$ 40	-24.33 $\pm$ 0.14	12493 $\pm$ 42	14820 - 14420	14930 - 14250
							3750 - 3720 (37.7%) 3800 - 3760 (45.9%) 3830 - 3820 (16.4%)	3840 - 3700 (100.0%)
14	1.35-1.40	PLD-8751	sediments	3510 $\pm$ 20	-23.10 $\pm$ 0.19	3508 $\pm$ 21	1200 - 1180 (36.0%) 1280 - 1240 (64.0%)	1210 - 1180 (37.1%) 1280 - 1220 (62.9%)
16	0.65-0.70	PLD-8410	sediments	1295 $\pm$ 20	-25.41 $\pm$ 0.12	1293 $\pm$ 22	810 - 810 (17.1%) 860 - 830 (57.5%) 920 - 900 (25.4%)	870 - 880 (71.8%) 880 - 880 (0.8%) 930 - 890 (27.4%)
22	1.60-1.65	PLD-8752	sediments	950 $\pm$ 20	-29.68 $\pm$ 0.19	949 $\pm$ 18		

近における暦年較正年代が 19480 - 19180 cal yr BP であり、堆積相 iii に含まれる地層は更新世末期以降のものと考えられる。

シェムリアップ川とロリュオス川中流域では現在、湖面低下時の浸食基準面の低下に合わせて下刻が進み、下流域で自然堤防を形成している。湖岸湿地 No. 14・15 の黄褐色粘土質砂層は、扇状地上にある黄褐色粘土質砂層が沖積層と識別されていることから（日本政府アンコール遺跡救済チーム (JSA) 1996）、河成堆積物と考えられる。この層は年代測定結果より約 3800 cal yr BP と示され、これより上層は完新世後期の堆積層である。また、KD コア 1.55 m 深の年代測定結果より、約 5000 cal yr BP から中～粗粒砂層の自然堤防の形成が始まったことがわかる。

約 3800 cal yr BP 前後の湖岸湿地上的河成堆積物から、湖水準低下時に河成堆積物供給が卓越したこと、および東南アジア域での約 4000 cal yr BP の海水準の現在レベルへの低下（Somboon and Thiramongko 1992）との連動より、最大時の湖水準が湖岸段丘 I に達したのは約 5500～4000 cal yr BP と推測でき、湖岸段丘 I が雨季に湖水面下であったと仮定すると、KT の -1.0 m～1.8 m に相当する湖成層は約 5500～4000 cal yr BP に堆積し、堆積速度は

0.5 mm/yr となる。湖岸湿地の 0.65 m 深は 1280 - 1220 cal yr BP の堆積物であることから、ここでの 1300 年間の平均堆積速度は約 0.5 mm/yr と考えられる。

また、トンレサップ湖岸北西地域の地形変化を次のようにまとめることができる（図 10）。

1) 約 5500 cal yr BP 前後

湖岸段丘 I に砂堤が形成され、雨季の湖水準は湖岸段丘 I まで達していた。砂堤より北部では扇状地 I が形成され、シェムリアップ川、ロリュオス川の土砂供給が認められた。シェムリアップ川は砂堤背後まで堆積地域であり、KD 付近は氾濫原であった。

2) 約 3800 cal yr BP 前後

湖岸段丘 II に近い湖岸湿地では約 3800 cal yr BP 前後に河成層が堆積していたことから、湖水準低下で湖岸段丘 I、湖岸段丘 II が形成された。約 3800 cal yr BP 前後の湖水準は現在より低く、段丘に近い湖岸湿地は一時離水していたと考えられる。湖水準低下に伴い、湖に流入する河川の浸食基準面も低下した。ロリュオス川の中流域の扇状地部では河川による開析が始まった。雨季は河川流量が増加することにより、ロリュオス川の中～下流域で氾濫堆積が起こった。この時期の KD 付近の堆

図 9 測線 A-A'における地形地質断面図
Figure 9 Stratigraphic cross section of A-A'

図 10 トネサップ湖岸北西部における約 5500 年前以降の地形変化

Figure 10 Development of landforms in the northwestern Lake Tonle Sap since ca.5500 years BP

積環境は扇状地であった。

3) 約 1000 cal yr BP (アンコール時代) 以降

東バライ北部を流れるシェムリアップ川の河道が変更された時期は東バライ造営後の AD1181～1201 であり (石澤 1982), その後シェムリアップ川の流量, 土砂供給量が減少した。河道変更後のシェムリアップ川とロリュオス川の中流域では下刻が, 中～下流域では氾濫堆積が起こっていた。王都がロリュオス地域からアンコール地域に移転した (Charles 2004) 時期である約 850 cal yr BP より, 湖岸段丘 I と湖岸段丘 II の境界のロリュオス川自然堤防が形成され始めた。

謝 辞

早稲田大学理工学総合研究センターの下田一太講師には現地調査のサポート, UNESCO 職員 May Kosal 氏, カンボジア地質調査所の Ben Bun-narin 氏には現地調査に同行していただきました。カンボジア公共交通事業省の Khun Sokha 氏, (株) パスコインターナショナルの山屋浩三氏には空中写真ほかの資料の提供をお願いしました。メコン河委員会の國枝達郎氏には水文データを提供していただきました。東京大学大学院の大学院生の伊

藤 健氏には現地調査でのボーリングや湖底測深などの作業を, 三浦正史氏には粒度分析のサポートをしていただいたほか, 有益な助言をいただきました。また, 匿名査読者の方にも有益な助言をいただきました。この研究では, 平成 16～19 年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A) 「巨大河川の環境変動が社会環境へ及ぼす影響評価—メコン川流域の場合—」 (課題番号: 16251001, 代表者: 春山成子) の一部を使用しました。

注

- 1) 年代測定の表記が ^{14}C 年代のみの既往文献については, 校正曲線データ INTCAL04 (Reimer et al. 2004) を使用して暦年校正をした。

(2009 年 4 月 6 日受付 2010 年 1 月 14 日受理)

文 献

- 石澤良昭 1982. 『古代カンボジア史研究』図書刊行会.
- 斎藤文紀 2005. ヒマラヤーチベットの隆起とアジアの大規模デルタ: デルタの特徴と完新世にお

- ける進展. 地質学雑誌 111: 717-724.
- 日本政府アンコール遺跡救済チーム(JSA) 1996. 第四章 地盤・地質・環境学. 中川 武編『アンコール遺跡調査報告書 1996』293-346. 財団法人日本国際協力センター.
- 春山成子 2000. アンコールワット水利構造物の立地条件にかかわる一地形学的考察. 早稲田大学教育学部学術研究—地理学・歴史学・社会科学編— 48: 15-24
- 春山成子・大矢雅彦 1990. メコン川流域の自然と開発. 国際農林業協力 13: 27-43.
- 福井捷朗 1999. 農業生態から見たグロリエのアンコール水利社会説批判. 東南アジア研究 36: 546-554.
- 藤井秀人 2004. トンレサップ湖及び周辺氾濫域の洪水緩和機能. 農業土木学会誌 72: 599-603
- 堀 博 1996. 『メコン河—開発と環境』古今書院.
- 盛合禧夫・松村吉康 2001. 西北部カンボジアに分布する世界最大級アンコール遺跡. 石澤良昭編『カンボジアの文化復興(18)』29-43. 上智大学アジア文化研究所.
- 横山卓雄・佐藤万寿美 1987. 粘土混濁水の電気伝導度による古環境の推定—千里山丘陵東端部および琵琶湖湖底におけるボーリング・コアの場合—. 地質学雑誌 93: 667-679.
- Charles, H. 2004. *The civilization of Angkor*. Berkeley, California: University of California Press.
- Dirk, L., Marko, K., Jorma, K., Matti, K., Jeffrey, R., Juha, S., Samal, S., Pech, S. and Olli, V. 2006. Mekong river basin development and Tonle Sap lake productivity: current knowledge and future challenges. In *Proceedings of the Second International Symposium on Sustainable Development in the Mekong River Basin*, ed. Hajime, T., 187-196. Tokyo: Japan Science and Technology Agency, and Institute of Technology of Cambodia.
- Geological Survey of Vietnam 1991. *Geology of Cambodia, Laos and Vietnam*. Hanoi: Geological Survey of Vietnam.
- Hori, K., Haruyama, S. and Sotham, S. 2007. Sedimentary facies of borehole cores from the Mekong River floodplain in Cambodia. *Geographical Review of Japan* 80: 183-194.
- Japan International Cooperation Agency and the Ministry of Public Works and Transport 1999. *Cambodia reconnaissance survey data*(CD-ROM). Tokyo: Japan International Cooperation Agency and the Ministry of Public Works and Transport.
- Jarvis, A., Rubiano, J., Nelson, A., Farrow, A. and Mulligan, M. 2004. Practical use of SRTM data in the tropics—comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. In *Centro Internacional de Agricultura Tropical Working Document* 198, ed. Jarvis, A., 1-36. Washington, DC: Consultative Group for International Agricultural Research. Also at <http://srtm.csi.cgiar.org/> (最終閲覧日: 2009 年 12 月 10 日)
- Lee, A. M. 2001. Holocene monsoon changes inferred from lake sediment pollen and carbonate records, northeastern Cambodia. *Quaternary Research* 56: 390-400.
- Mekong River Commission, and Ministry of Public Works and Transport, Cambodia 1999. *Hydrographic atlas Mekong River in Cambodia*. Vientiane: Mekong River Commission, and Ministry of Public Works and Transport, Cambodia.
- Penny, D. 2006. The Holocene history and development of the Tonle Sap, Cambodia. *Quaternary Science Reviews* 25: 310-322.
- Penny, D., Gordon, C. and Sok, S. I. 2005. Long-term rates of sediment accumulation in the Tonle Sap, Cambodia: a threat to ecosystem health? *Journal of Paleolimnology* 33: 95-104.
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Bertrand, C., Blackwell, P. G., Buck, C. E., Burr, G., Cutler, K. B., Damon, P. E., Edwards, R. L., Fairbanks, R. G., Friedrich, M., Guilderson, T. P., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, F. G., Manning, S., Ramsey, C. B., Reimer, R. W., Remmele, S., Southon, J. R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F. W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C. E. 2004. IntCal04 Terrestrial radiocarbon age calibration,

- 26–0 ka BP. *Radiocarbon* 46: 1029-1058.
<http://www.radiocarbon.org/IntCal04%20files/intcal04.14c> (最終閲覧日: 2009年12月10日)
- Rodriguez, E., Morris, C. S., Belz, J. E., Chapin, E. C., Martin, J. M., Daffer, W. and Hensley, S. 2005. An assessment of the SRTM topographic products. *Technical Report JPL D-31639*. Pasadena, California: Jet Propulsion Laboratory.
- Somboon, J. R. P. and Thiramongkol, N. 1992. Holocene highstand shoreline of the Chao Phraya delta, Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* 1: 53-60.
- Stuiver, M. and Reimer, P. J. 1993. Extended 14C data base and revised CALIB 3.0 14C age calibration program. *Radiocarbon* 35: 215-230.
- Sun, G., Ranson, K. J., Kharuk, V. I. and Kovacs, K. 2003. Validation of surface height from shuttle radar topography mission using shuttle laser altimeter. *Remote Sensing of Environment* 88: 401-411.
- Tamura, T., Saito, Y., Sotham, S., Bunnarin, B., Meng, K., Im, S., Sokunthea, C. and Akiba, F. 2009. Initiation of the Mekong River delta at 8 ka: evidence from the sedimentary succession in the Cambodian lowland. *Quaternary Science Reviews* 28: 327-344.

<著者略歴> 深野麻美 (ふかの あさみ)

2006年 筑波大学第一学群自然科学類(現生命環境学群地球学類)卒業。2008年 東京大学大学院新領域創成科学研究科自然環境学専攻修了。

<著者略歴> 春山成子 (はるやま しげこ)

早稲田大学, 東京大学大学院准教授を経て三重大学大学院教授。東南アジアの自然災害と地形, 地域研究を専門とする。

<著者略歴> 桶谷政一郎 (おけたに せいいちろう)

東京大学大学院新領域創成科学研究科自然環境学専攻博士課程修了。博士(環境学)。メコン川カンボジア地域の河道変遷の研究を行う。産業技術総合研究所特別研究員。