

カンボジア王国アンコール遺跡の見学記

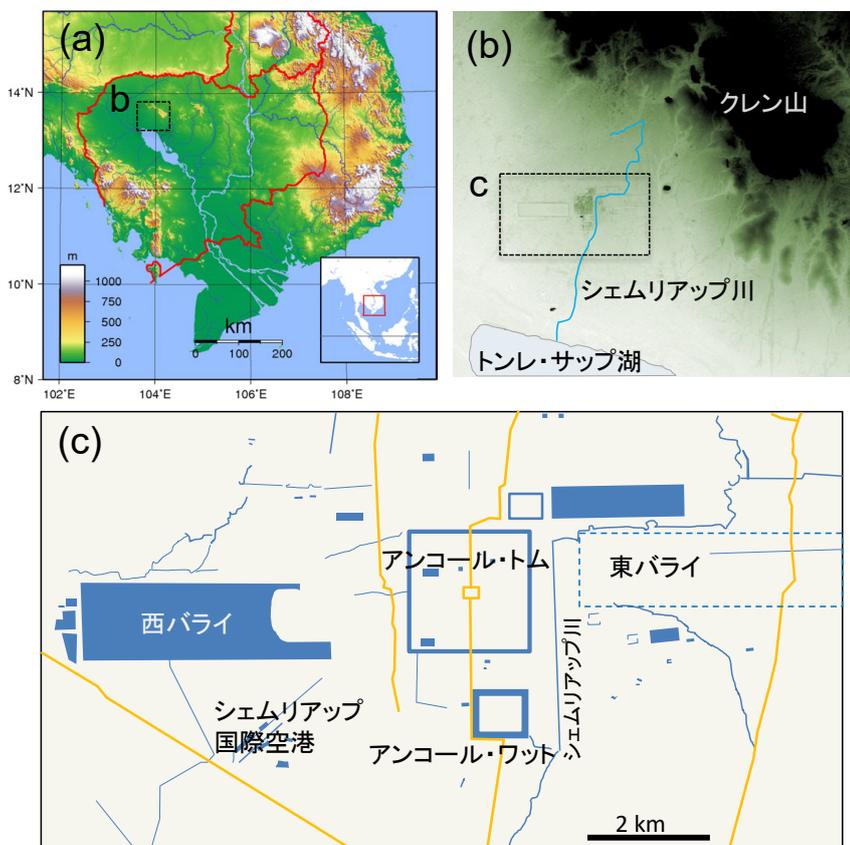
鈴木 淳¹⁾・太田 雄貴²⁾・築瀬 拓也³⁾・眞中 卓也^{4),3)}・川幡 穂高^{3),1)}

2016年2月、カンボジアの世界遺産であるアンコール遺跡について、石材に関する岩石学的研究に長年に渡り携わっておられる早稲田大学内田悦生教授の案内で見学する機会を得た。メコン川水系シェムリアップ川流域のアンコール遺跡の概要を紹介しつつ、石材の産地や運搬、遺跡の劣化に関する知見など近年の話題を紹介したい。後半では、メコン川を含め東南アジア河川を対象にした著者ら炭素循環に関する調査研究についても概説する。

1. はじめに

アンコール遺跡は、1992年にUNESCOにカンボジア王国初の世界遺産として登録された(UNESCO World Heritage Centre, 2016)。トンレ・サップ湖の北にクメー

ル王朝の旧都がおよそ200 km²の広大な範囲に広がり、11～15世紀にかけて建造された石造建造物群は、その芸術性の高さから注目を集めている(第1図)。世界的に有名な寺院遺跡アンコール・ワットや城砦都市遺跡であるアンコール・トムの他、灌漑施設や街道の遺構を含めて、世界遺産が構成されている。アンコール遺跡は、世界遺産への登録と同時に「危機にさらされている世界遺産リスト」に登録されたが、UNESCOを初め多くの国の支援と、カンボジア政府がUNESCOの求めにより設立したアンコール地域遺跡保護管理機構(Authority for the Protection and Management of Angkor and the Region of Siem Reap APSARA, 通称: アプサラ機構)の活動により状況の改善が見られ、2004年にこの危機遺産リストから解除された。



第1図 カンボジアの地図(a, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Cambodia_Topography.png, 閲覧日: 2016年11月26日)。クレン山からトンレ・サップ湖に至る、アンコール遺跡の周辺図(b)。STRM3数値標高モデル(DEM) (Shuttle Radar Topographic Mission v2.1, <http://dds.cr.usgs.gov/srtm/>, 閲覧日: 2020年9月1日)より作成し、シェムリアップ川とトンレ・サップ湖を加筆した。アンコール遺跡の中心部(c)。中央の環濠に囲まれた城塞都市遺跡がアンコール・トムで、その南側に、やはり環濠で囲まれたアンコール・ワット遺跡がある。アンコール・トムの東及び西側には、アンコール王朝期の灌漑用貯水池(バライ)が見られる。

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

2) 産総研 エネルギー・環境領域 環境創生研究部門 (元 地質調査総合センター 地質情報研究部門 リサーチアシスタント)

3) 東京大学 大気海洋研究所 海洋底科学部門 〒277-8564 千葉県柏市柏の葉5-1-5

4) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 森林研究部門 〒305-8687 茨城県つくば市の里1

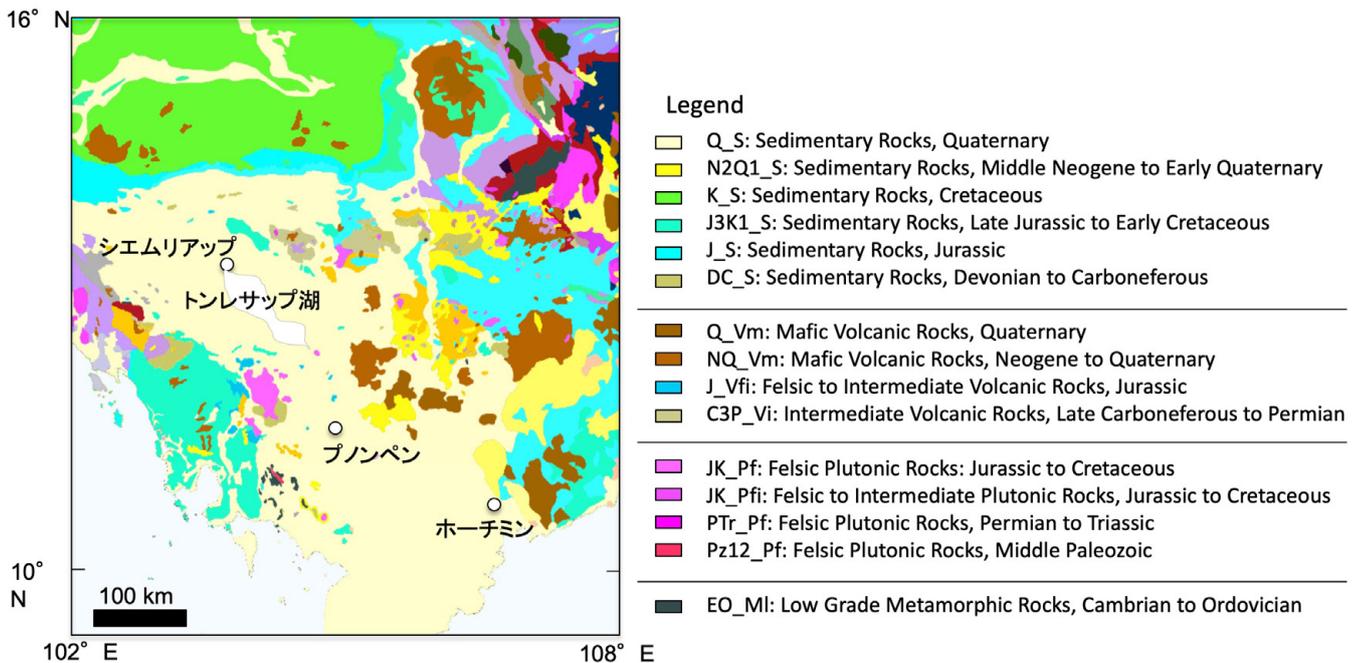
キーワード: アンコール遺跡, トンレ・サップ湖, メコン川

2. クメール王朝の成立と周辺の地勢

クメール王朝は、アンコール王朝とも呼ばれ、その成立と衰退には、メコン川水系シェムリアップ川流域における治水・利水問題が大きく関係していると指摘されている(Stone, 2009; ナショナルジオグラフィック日本版, 2009)。クレン山(Phnon Koulen, Phnon は丘の意)は、アンコール・ワット他の主要な遺跡が集中するシェムリアップの街から北東方向約 50 km の距離に位置する最高標高 487 m, 白亜紀の砂岩層からなる丘陵であり(第 2 図), シェムリアップ川の源流域にあたる(第 1 図 b)。西暦 802 年頃にジャヤーヴァルマン 2 世がこの地で即位したのがクメール王朝の創始とされている。アンコール・ワットは、12 世紀前半にスーリヤヴァルマン 2 世(在位: 1113-1150)によって、30 年程の年月をかけてヒンドゥー教寺院として建造された。その後、クメール王朝初の仏教徒の国王ジャヤーヴァルマン 7 世(在位: 1181-1218)が、環濠都市アンコール・トムを新たな首都として建造するとともに、アンコール・ワットの仏教寺院化を進めた(第 1 図 c)。ジャヤーヴァルマン 7 世の治世に最盛期を迎えたクメール王朝は、その後、タイに興ったアユタヤ朝に首都アンコール・トムを攻められて、1431 年に終焉を迎える。

アンコール・ワット他の主要な遺跡は、クレン山からその南西に位置するトンレ・サップ湖に至る緩やかな斜面上に分布している(第 1 図 b)。現在までの遺跡調査から、クレン山の水を河川や運河を利用してアンコール・ワットやアンコール・トムの環濠に導き(第 3 図), シェムリアップ川を介してトンレ・サップ湖に流していたことが判明している。アンコール・ワットでは、環濠の北東の角に現在もシェムリアップ川から流れ込む水路があり、内部を通過して、反対側の環濠の南西の角から流出している。著者が訪れたのは乾季であったため、流入・流出水路ともに干上がった状態であった。アンコール・ワットやアンコール・トムの東西には、バライと呼ばれる巨大なため池が構築されていた(第 1 図 c)。西バライは現在でも湛水して、農業用水として活用されている。

トンレ・サップ湖には、雨期にはメコン川から大量の河川水が流入し、メコン川下流域の洪水調整機能を有する自然の遊水池となっている(第 4 図)。湖の水上家屋は floating house と呼ばれており、ベトナム人が多く暮らしているという。湖は濁度がたいへん高く、光合成が十分に行われていない印象を受けた。先行研究はあまり多くないようである。トンレ・サップ湖が周辺の水系に与える生物地球化学的な効果及び炭素循環についての研究は興味深い。



第 2 図 カンボジア王国及び周辺の地質図。地質調査総合センター「地質図 Navi」からの転載。原本は東南アジア地質図(GSJ CCOP Combined Bedrock and Superficial Geology and Age)による(脇田ほか, 2004)。CCOP: the Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia.



第3図 環濠都市の遺跡アンコール・トム。アンコール・トムは、1431年までクメール王朝の首都であり、幅約100mの環濠(a)で囲まれている。その堤防(b)は、ラテライトの石材が積まれている。アンコール・トムの中央部にはバイヨン遺跡が位置し、その四面像が有名である(c)。



第4図 乾季のトンレ・サップ湖。プノン・クロムの船着き場(a)からトンレ・サップ湖へはおよそ3kmほどの水路で繋がっている。トンレ・サップ湖には、多数の水上家屋が浮かんでいる(b)。

3. カンボジアの地質と世界遺産アンコール遺跡で使用された石材

アンコール遺跡群の建造物では、灰色～黄褐色の砂岩とラテライトのブロックが多用されているが、建築時期に応じて使用される石材に違いが見られる。砂岩は、アンコール地方に分布する白亜紀の砂岩層から採取されたものと考えられている(第2図)。

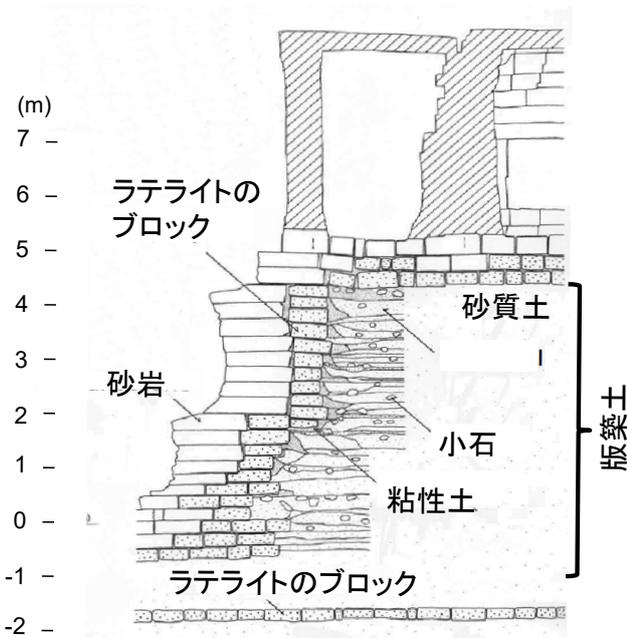
プリア・コー遺跡 初期の遺跡では、このプリア・コー遺跡に見られるように、祠堂や回廊の主たる構造物にレンガが使用されており、ドヴァラパーラやデヴァターなどが彫刻された灰色～黄褐色の砂岩の石材が嵌め込まれている(口絵第2図写真B)。レンガは、その後のアンコール遺跡の建造物ではあまり使用されなくなった。

アンコール・ワット遺跡 アンコール・ワットは、建築技術と意匠の素晴らしさからアンコール遺跡群の中でも傑作とされる建造物である(第5図)。アンコール・ワットは遠景では平坦な建造物にも思われるが、実際には内回廊(第三回廊)のある中央祠堂は、その基壇から約13mの高さがあり、見学者向けに木造の階段が増設されているが、たいへんな急勾配であって、上り下りは容易ではない(第5図b)。このように立体的な建造物は、全てが石材で建造されている訳ではなくて、盛り土をラテライトのブロックで固定し、さらにその外側に灰色～黄褐色の砂岩を配置する手法が取られている(第6図)。これは、姫路城に代表される日本の城郭と類似の造営スタイルである。

バイヨン遺跡 環濠に囲まれた城塞都市アンコール・トムの中央部に位置する(第3図)。仏教に帰依した国王ジャ



第5図 アンコール・ワット遺跡 (a) と中央祠堂 (b). 中央祠堂は、その基壇から約13 mの高さがあり、見学者向けに木造の階段が増設されている。



第6図 アンコール遺跡の積石構造物の基本構造. 岩崎ほか (2014) 及び Iwasaki *et al.* (2019) によるバイヨン寺院北経蔵の部分解体によるトレンチ断面の図を改編. 各部の名称は、岩崎 (2005) によった. 立体的な建造物は、全てが石材で建造されている訳ではなく、締め固められた盛土 (版築土) をラテライトのブロックで固定し、さらにその外側に灰色～黄褐色の装飾用の砂岩を配置する手法が取られている.

Copyright 2019 from "Authenticity of soils and foundation of Bayon temple in Angkor Thom and restoration of retaining structures in Angkor" by Y. Iwasaki *et al.*. Reproduced by permission of Taylor and Francis Group, LLC, a division of Informa plc.

ヤーヴァルマン7世が、アンコール・トムを新たな首都として建造するとともに、このバイヨンの造営を進めた。12世紀の末頃のことと考えられている。塔の4面に彫られている人面像は、バイヨンの四面像として有名である (第3図c)。その後、ヒンズー教の影響を受けて改築されている。

スピアン・コンボンクデイ遺跡 アンコール遺跡群としては、寺院が目されるが、当時の橋梁を見学する機会を得た。シェムリアップから東方に約65 kmには、スピアン・コンボンクデイ (スピアンは橋の意) というラテライト材で造られた橋があり、12世紀末から13世紀始めに建造されたとされ、900年を経た現在でも現地の人々は生活に活用している (第7図)。「擬似アーチ構造」と呼ばれるスタイルが用いられており、ヨーロッパの建造物で見られる「アーチ構造」とは異なっている点の特徴である (第7図c, d)。規模は小さいが、同じ時期に建造された10以上の橋梁が、シェムリアップからコンポントムに至る国道沿いに残されており、現在も生活道路として使用されているが、交通量の多い国道については、それらの橋梁を迂回する措置が進められている。

なお、ごく一部の遺跡に限られるが、玄武岩が石材として用いられているクメール王朝期の建造物がメコン川に近いコンボンチャム周辺に知られている。この付近には、第四紀の火成作用による玄武岩台地が分布し、これは今回の調査でも国道6号線の周辺で確認できた。

これらのアンコール寺院群を建造したクメール王朝は、



第7図 スピアン・コンボンクデイ遺跡 (a)．スピアンは現地語で橋を意味する．乾季のため河川の水はわずかである．現在も使用されているが，保護のために大型の車は通行していない．欄干にデザインされているナーガ（蛇神）は，アンコール遺跡群の至る所に見られ，水の神を守護する存在である (b)．スピアン・コンボンクデイ遺跡ほか，アンコール遺跡で見られる石積みは，擬似アーチ構造 (c) であって，アーチ構造 (d) とは異なっている．

周辺国との戦争を繰り返しつつ衰退し，1431年にタイのアユタヤ朝に攻められてアンコール・トムを放棄する．王統は継続してカンボジア王国と呼ばれるが，「カンボジアの暗黒時代」のはじまりであって，アンコール文化は衰退し，大規模な石造建築の技術も途絶したようである．例えば，日本の飛鳥時代や奈良時代に建造された法隆寺や東大寺の造営技術が，建築集団によって綿々と受け継がれてきているのとは大きな違いがある．シェムリアップからクレン山に至る道路沿いや，首都プノンペンに通じる国道6号線沿いに多数のレンガ工場が稼働していることから，現在は，安価な建築材料としてレンガが用いられている様子が伺えた．



第8図 アンコール・トム遺跡で，石材の層理面について説明する内田教授

4. 日本国政府アンコール遺跡救済チームによるアンコール遺跡研究

日本のアンコール遺跡への取り組みの歴史は，日本国政府アンコール遺跡救済チーム (JAPAN-APSARA Safeguarding Angkor, JASA) のホームページ (<http://angkor-isa.org>, 閲覧日: 2020年9月1日) に詳しい．早稲田大学内田悦生教授らの研究グループでは，石材として使用されている砂岩の帯磁率の測定から寺院の建造時期を細分し，石切り場の位置の特定を進めている (第8図; Uchida *et al.*, 2003, 2007, 2013, 2014)．

Uchida and Shimoda (2013)によると，クレン山周辺の調査により，その南東山麓に約50カ所の採石場跡を発見し，さらに帯磁率と切り出された砂岩の厚さを基に，4つ

の碎石時期に分かれることが見出される．クレン山の麓の採石場から切り出された砂岩のブロックの輸送経路として，従来は採石場から南方の運河を利用してトンレ・サップ湖に運び，さらにシェムリアップ川を遡ってアンコール遺跡まで約90 kmの距離を運搬していた可能性が指摘されていた．しかし，その後，アンコール遺跡の東側に伸びる直線状の構造が人工衛星画像から見出され，現地調査によって運河跡の可能性が高いことが明らかになった．Uchida and Shimoda (2013)は，採石場からいくつかの運河や河川を経た後，この直線上の運河を通してアンコール遺跡まで35 kmの経路を運ばれていた可能性が最も高い



第9図 クレン山南東山麓の採石場からアンコール遺跡に至る石材の輸送経路。
Reprinted from *Journal of Archaeological Science*, 40, E. Uchida and I. Shimoda, "Quarries and transportation routes of Angkor monument sandstone blocks", 1158-1164, Copyright (2013), with permission from Elsevier.

と報告し、この研究成果は *Science* 誌でも紹介されるなど、広く注目されている(第9図)。

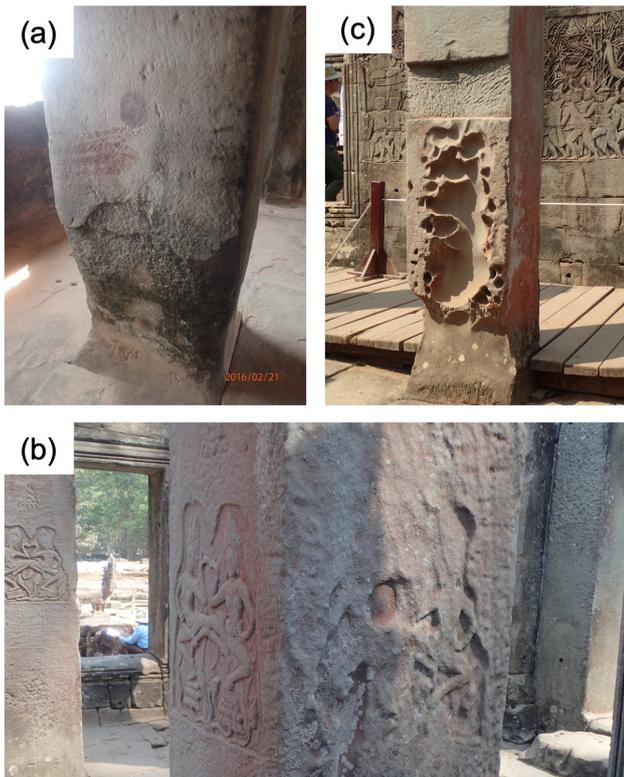
アンコール遺跡は15世紀に放棄された後、密林に埋もれ続けたため、荒廃の進行が随処に見られる。石材の化学的風化の他、コウモリの排泄物に起因する劣化、方解石析出に起因する塩類風化、タフォニ風化が顕著である(Uchida *et al.*, 1999; 内田, 2003, 2016)。今回の見学の際も、棲息するコウモリの排泄物の影響により柱下部が細くなっている様子や、レリーフの劣化現象などが観察できた(第10図)。タフォニ(tafone)は、風化作用によって岩石内部の物質が除去されて表面に生じる円形や楕円形の無数の穴を指す用語であるが、太陽光の影響が大きいと思われるものの、その原因は十分に解明されていないという。石材の劣化防止と保存に関する研究は、今後さらに重要性が増すものと思われる。

また、空中からのレーザー光による測距装置「ライダー」(LiDAR: Light Detection and Ranging)をヘリコプターに搭載した計測による国際共同研究では、アンコール・ワットやアンコール・トムを中心とする広い地域で古代都市の存在を明示する道路や水路網の痕跡が発見された(Evans *et al.*, 2013; 筑波大学, 2013)。遺跡群の大半が熱帯林に覆われていて、地上調査には限界があるため、この新しい手法は有効である。

5. 東南アジアの大河川を対象とした陸域の風化作用に関する研究

1431年にアンコール・トムを退いたクメール王朝最後の王ポニャー・ヤットは、メコン川岸のスレイ・サントー(現在のコンポンチャム州)を経て、プノンペンに移り、この地が現在もカンボジア王国の首都となっている。時代が下り、ヨーロッパ諸国との貿易が盛になるとメコン川は重要な役割を持つようになる。現在はベトナム領となっているメコン川デルタ域も当時はカンボジアの版図であり、プノンペンは海外交易にも便利な拠点であった。

カンボジアを訪れた著者らの研究目的は、このメコン川水系の水質調査である。科学研究費補助金基盤S課題「地球表層システムにおける海洋酸性化と生物大量絶滅」(課題代表: 川幡穂高)の一環として、ヒマラヤ山脈から流れ出し、南アジアや東南アジアに至る大河川の採水調査を実施した。二酸化炭素は酸性気体なので、人為起源の二酸化炭素の放出は、地球温暖化の他に海洋酸性化をもたらし、新たな環境問題として注目されている。これは、海洋でよく見られる炭酸殻をもつ生物群に損傷を与えると共に、5,500万年前の暁新世-始新世温暖化極大事件(Paleocene-Eocene Thermal Maximum, PETM)と同様に、深海底での大量絶滅を引き起こすと危惧される(Kawahata



第10図 アンコール遺跡で見られる石材劣化の状況。棲息するコウモリの排泄物の影響により柱下部が細くなっている様子 (a)。レリーフの劣化現象（アンコール・トムのバイヨン遺跡）(b)。タフォニ (tafoni) 風化が進行した柱 (c)。(a) はアンコール・ワット遺跡、(b, c) はアンコール・トムのバイヨン遺跡の外回廊にて撮影。

et al., 2015)。本課題では、(1) 水環境の酸性化に伴う生物の応答を精密飼育実験で明らかにする、(2) 海洋酸性化の生物起源炭酸塩の微小領域への影響を解析する、(3) 「大量絶滅海洋酸性化説」を検証する、(4) 中和機能がある陸の風化過程を明らかにする、の4つのサブテーマを設けて研究を推進してきた。最終的に、地球表層システム(大気圏、水圏、生態圏、岩石圏)全体の中で、海洋酸性化の位置付けと pH を支配する地球システムと将来の生物圏への影響を明らかにすることが、本科研費課題の目標であった。今回のカンボジア調査では、当該科研費課題の研究目的の「(4) 中和機能がある陸の風化過程を明らかにする」に掛かる現地調査として、カンボジア王国に出張し、メコン川及びトレン・サップ湖周辺の水系を対象に調査を行った(第11, 12図)。

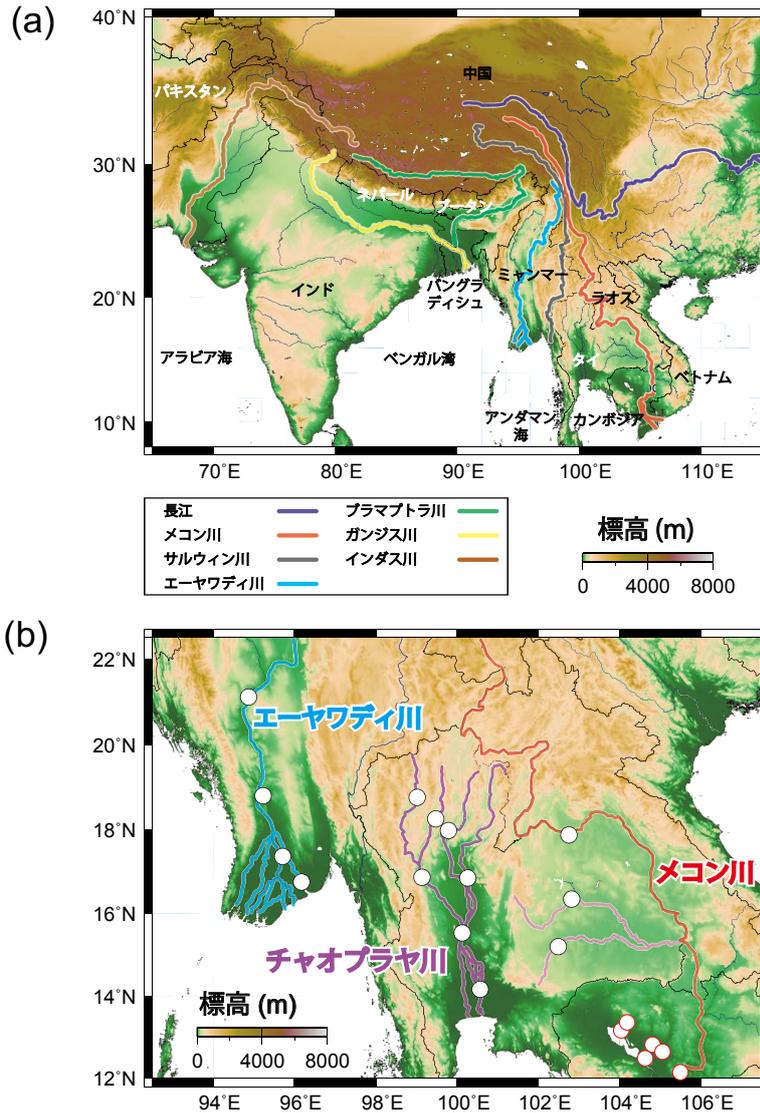
著者らは、この課題に掛る同様の現地調査を、バングラデシュ、ミャンマー及びタイにて実施してきた。バングラデシュは、ガンジス川、ブラマプトラ川、メグナ川という巨大な流域を有する大河川が合流する場所に位置する(第12, 13図)。これらの河川は大量の碎屑物をベンガル湾という海洋にもたらしているが、海洋に流入するのは、碎屑



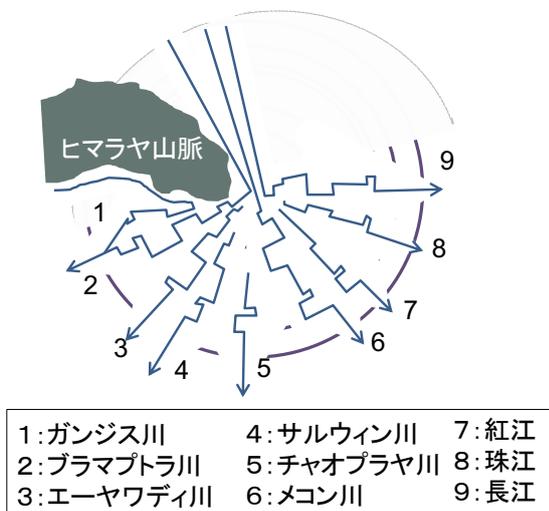
第11図 乾季のメコン川。カンボンチャム付近の右岸の自然堤防から上流方向を望む。

物だけではない。これらの河川から海洋にもたらされる炭素関連物質に注目した。大陸は風化の場であり、大量の二酸化炭素が大気から陸水に移行する場所と考えられているが、具体的な炭素フローについては不明な部分が多い。バングラデシュにおける河川の乾期雨期を含めた水質調査から、これらの河川の下流部では、土壌呼吸に起因する二酸化炭素分圧の上昇が顕著で、河川は大量の二酸化炭素を大気中に回帰させていることが明らかになった(Manaka *et al.*, 2015b)。

また、ミャンマーでは、エーヤワディ川(イラワジ川)を、タイ王国では、メコン川上流部及びチャオプラヤ川を対象に、河川水の採取調査を行ない、炭酸系諸量及び主要な溶存イオンの分析を実施して、流域のケイ酸塩鉱物の風化による二酸化炭素の吸収量の推定値を報告した($63\text{--}145 \times 10^9 \text{ mol y}^{-1}$; Manaka *et al.*, 2015a)。エーヤワディ川の水質についてはアクセスの難しさから研究例が乏しく、世界主要河川のとりまとめでは、世界の主要河川の中でも突出して大きな値が用いられていた(例えば、Gaillardet *et al.* (1999)では、エーヤワディ川について $832 \times 10^9 \text{ mol y}^{-1}$ とされ、これは全世界の約10%に相当する)。Manaka *et al.* (2015a)による新知見は、ヒマラヤ山脈全体での新生代を通じた二酸化炭素の吸収量の見積にも影響があり、今後見直しが進むことと思われる(第14図)。今回のカンボジア調査では、一連の研究調査を発展させ、メコン川中流域を対象とした。メコン川の最下流部であるベトナムや、反対に上流部に位置するラオスやさらに遡っての中国での現地調査も重要である(Kajita *et al.*, 2020)。今後、さらなる現地調査を展開したいと考えている。



第 12 図 東南アジアの主要河川の流路 (a) とミャンマー、タイ、カンボジアのエーヤワディ川、チャオブラヤ川、メコン川の拡大図 (b)。パネル b には、前回までの採水調査地点を白丸で示す。

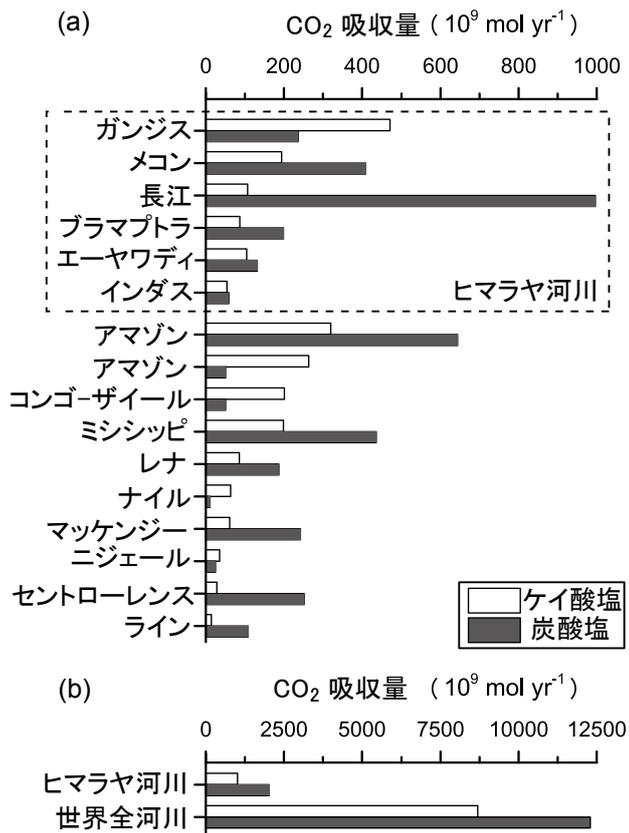


第 13 図 東南アジアの主要河川の流路模式図。高谷 (1986) の図 2 を基に、ガンジス川を追加した。

6. おわりに

カンボジアは、1992 年のパリ和平の成立から約 25 年の年月を経て、ポル・ポト政権下の災禍を短期の滞在者に気づかせるものはほとんどない。当時のカンボジア紛争の様子は、日本でも毎日のように報道されていて、現在、50～60 歳代の世代にはきわめて強い印象が残っている。しかし、最近の日本の若い世代では、犠牲者数が 100 万人にも登るとされる大虐殺の歴史を知らない世代も増えている。

世界遺産アンコール遺跡を訪れる観光客は、我々が訪れた前々年の 2014 年には年間約 502 万人で、このおよそ半数の 235 万人が外国人旅行者であって、その後も増加傾向にあり (ポッ・古屋, 2017)、大きな外貨獲得源とし



第 14 図 東南アジアの主要河川の風化による二酸化炭素吸収量の推定。Gaillardet *et al.* (1999) を基に作成。ケイ酸塩と炭酸塩の風化による吸収のうち、長期的にはケイ酸塩によるものがより重要と考えられている。ミャンマーのエーヤワディ川については、Manaka *et al.* (2015a) の推定値を用いた。

てカンボジア経済に貢献している。比較として日本と京都の外国人観光客の統計を見ておこう。2014年に日本を訪問した外国人はおおよそ1,341万人、2018年には3,119万人とこちらも近年顕著な増加傾向にあるが(日本政府観光局, 2020), そのうち京都に宿泊した外国人宿泊客数は2014年に316万人(2018年には450万人)であり(京都市, 2015, 2019), アンコール遺跡の魅力が伺える。年一人当たりの国民総生産(GDP)は、タイ5,878米ドル、ベトナム2,171米ドル、に対して、カンボジアは1,140米ドルであり、まだまだ世界の最貧国と分類されている(ラオス1,725米ドル、バングラデシュ1,235米ドル、ミャンマー1,113米ドル; 外務省, 2016)。しかし、メコン川の採水調査のために訪れたコンポンチャム郊外の村々では、のどかで穏やかな人々の生活を垣間見ることができた。一方、シムリアップやコンポンチャムなどの地方都市では、道路や公園などのインフラ整備も急ピッチで進展している様子が伺えた。現在はさらに開発が進んでいることであろう。

なお、アンコール遺跡群についての詳細な情報が掲載されている日本語のインターネットサイトとして、「アンコール遺跡フォトギャラリー」(<http://www.angkor-ruins.com>; 波田野, 2016)「アンコール遺跡」(<http://angkor.gogo.tc/index.html>), 「アンコールワット遺跡群ガイド」(<http://angkorwat.jp>), 「クメールの探求 砂岩採掘現場」(<http://www.kume-ru.com/sagan2/sagan2/sagan98.html>) などがあり、現地情報の収集に有用であった(いずれも閲覧日は2016年11月26日)。

謝辞: 早稲田大学創造理工学部環境資源工学科資源地球科学研究室の内田悦生教授には、アンコール遺跡群について詳細な解説を頂くと共に、現地における採水調査にあたり便宜を図って頂いた。また、原稿を読んで頂き改善のためのコメントを頂いた。記して厚く感謝致します。また、日本国政府アンコール遺跡救済チーム(JAPAN-APSARA Safeguarding Angkor, JASA)の皆様より、現地調査にあたりご支援を頂いた。今回の調査は、科研費基盤S課題「地球表層システムにおける海洋酸性化と生物大量絶滅」(課題代表者: 川幡穂高, H22-26年度)のフォローアップ研究として実施したものである。また、産総研地圏資源環境研究部門荒岡大輔博士並びに地質情報研究部門山岡香子博士にはコメントを頂いた。GSJ地質ニュースへの寄稿を薦めて下さった地質情報研究部門広報担当の高橋雅紀博士並びに小松原純子博士に感謝致します。

文 献

- アンコール遺跡 (2016) アンコール遺跡. <http://angkor.gogo.tc/index.html> (閲覧日: 2016年2月28日)
- アンコールワット遺跡群ガイド (2016) アンコールワット遺跡群ガイド. <http://angkorwat.jp> (閲覧日: 2016年2月28日)
- Evans, D. H., Fletcher, R. J., Pottier, C., Chevance, J.-B., Soutif, D., Tan, B. S., Im, S., Ea, D., Tin, T., Kim, S., Cromarty, C., De Greef, S., Hanus, K., Bâty, P., Kuszinger, R., Shimoda, I. and Boornazian, G. (2013) Uncovering archaeological landscapes at Angkor using lidar. *Proc Natl Acad Sci USA*, **110**, 12595–12600.
- Gaillardet, J., B. Dupré, P. Louvat. and C. J. Allègre (1999) Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. *Chemical Geology*, **159**, 3–30. doi:10.1016/S0009-2541(99)

- 00031-5
 外務省 (2016) 地域別インデックス (アジア). <http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/asia.html> (閲覧日: 2016年11月26日)
- 波田野直樹 (2016) アンコール遺跡フォトギャラリー. <http://www.angkor-ruins.com> (閲覧日: 2016年2月28日)
- 岩崎好規 (2005) 海外における遺跡保存と地盤工学. 土と基礎, 53 (3), 1-7.
- 岩崎好規・福田光治・下田一太・赤澤 泰・中澤重一・友田正彦・中川 武 (2014) アンコール遺跡における基壇盛土の真正性, たたき技法による修復と技術移転. 第49回地盤工学研究発表会発表講演集, 33-34.
- Iwasaki, Y., Ishizuka, M., Soeur, S., McCarthy, R., Nakagawa, T. and Vanna, Ly (2019) Authenticity of soils and foundation of Bayon temple in Angkor Thom and restoration of retaining structures in Angkor. In Mangushev, R., Zhussupbekov, A., Iwasaki, Y. and Sakharov, I., eds., *Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction*. CRC Press, Proceedings of Earth and Geosciences, 2, 98-107.
- Kajita, H., Ota, Y., Yoshimura, T., Araoka, D., Manaka, T., Ziyu, O., Iwasaki, S., Inamura, A., Uchida, E., Zheng, H., Yang, Qing., Wang, K., Yanase, T., Suzuki, A. and Kawahata, H. (2020) Seasonal and spatial variations of chemical weathering in the Mekong basin: From the headwaters to the lower reaches. *Aquatic Geochemistry*, 26, 137-159. doi:10.1007/s10498-020-09374-y
- Kawahata, H., Nomura, R., Matsumoto, K. and Nishi, H. (2015) Linkage of deep sea rapid acidification process and extinction of benthic foraminifera in the deep sea at the Paleocene/Eocene transition. *Island Arc*, 24, 301-316. doi:10.1111/iar.12106
- 京都市 (2015) 京都総合観光調査. <https://www.city.kyoto.lg.jp/sankan/cmsfiles/contents/0000202/202863/honsatsu.pdf> (閲覧日: 2020年1月6日)
- 京都市 (2019) 京都総合観光調査. <https://www.city.kyoto.lg.jp/sankan/cmsfiles/contents/0000254/254268/30tyosa.pdf> (閲覧日: 2020年1月6日)
- クメールの探求 砂岩採掘現場 (2016) クメールの探求 砂岩採掘現場. <http://www.kume-ru.com/sagan2/sagan2/sagan98.html> (閲覧日: 2016年2月28日)
- Manaka, T., Otani, S., Inamura, A., Suzuki, A., Aung, T., Roachanakanan, R., Ishiwa, T. and Kawahata, H. (2015a) Chemical weathering and long-term CO₂ consumption in the Ayeyarwady and Mekong river basins in the Himalayas. *Journal of Geophysical Research - Biogeosciences*, 120. doi:10.1002/2015JG002932
- Manaka, T., Ushie, H., Araoka, D., Ohtani, S., Inamura, A., Suzuki, A., Hossain, Zakir H.M. and Kawahata, H. (2015b) Spatial and seasonal variation in surface water pCO₂ in the Ganges, Brahmaputra, and Meghna Rivers on the Indian subcontinent. *Aquatic Geochemistry*, 21, 437-458. doi:10.1007/s10498-015-9262-2
- ナショナルジオグラフィック日本版 (2009) 特集: アンコールの興亡. <http://natgeo.nikkeibp.co.jp/nng/magazine/0907/feature02/index.shtml> (閲覧日: 2016年11月26日)
- 日本政府観光局 (2020) 年別訪日外客数, 出国日本人数の推移 (1964年-2018年). https://www.jnto.go.jp/jpn/statistics/marketingdata_outbound.pdf (閲覧日: 2020年1月6日)
- ポツ ソヴァンナ・古屋秀樹 (2017) カンボジア・アンコール遺跡群の来訪者行動・評価特性に関する研究. 公益社団法人日本都市計画学会 都市計画論文集, 52, 1364-1371.
- Stone, R. (2009) Divining Angkor. *National Geographic Magazine*, July, 26-55.
- 高谷好一 (1986) 東南アジアの地形・地質—大陸棚を中心—. アーバンクボタ, No.25, 8-11.
- 筑波大学 (2013) 空中からのレーザースキャンによりカンボジア・アンコール遺跡群にて巨大な古代都市構造を発見. <http://www.tsukuba.ac.jp/news/n201307301210.html> (閲覧日: 2016年2月28日)
- 内田悦生 (2003) アンコール遺跡 (カンボジア) における砂岩材の劣化現象. 地質学雑誌, 109 XI-XII.
- 内田悦生 (2016) アンコール遺跡の石材とその劣化に関する研究. <http://www.uchida.env.waseda.ac.jp/Research/Angkor.html> (閲覧日: 2016年2月28日)
- Uchida, E. and Shimoda, I. (2013) Quarries and transportation routes of Angkor monument sandstone blocks. *Journal of Archaeological Science*, 40, 1158-1164.
- Uchida, E., Ogawa, Y., Maeda, N. and Nakagawa, T. (1999) Deterioration of stone materials in the Angkor monuments, Cambodia. *Engineering Geology*, 55,

- 101–112.
- Uchida, E., Cunin, O., Shimoda, I., Suda, C. and Nakagawa, T. (2003) The construction process of the Angkor monuments elucidated by the magnetic susceptibility of sandstone. *Archaeometry*, **45**, 221–232.
- Uchida, E., Cunin, O., Suda, C., Ueno, A. and Nakagawa, T. (2007) Consideration on the construction process and the sandstone quarries during the Angkor period based on the magnetic susceptibility. *Journal of Archaeological Science*, **34**, 924–935.
- Uchida, E., Shimoda, I. and Shimoda, M. (2013) Consideration of the construction period of the Khmer temples along the east royal road to Preah Khan of Kompong Svay and the provenance of sandstone blocks based on their magnetic susceptibility. *Archaeological Discovery*, **1**, 37–48.
- Uchida, E., Tsuda, K. and Shimoda, I. (2014) Construction sequence of the Koh Ker monuments in Cambodia deduced from the chemical composition and magnetic susceptibility of its laterites. *Heritage Science*, **2**, 10. doi:10.1186/2050-7445-2-10
- UNESCO World Heritage Centre (2016) Angkor, <http://whc.unesco.org/en/list/668/> (閲覧日: 2016年 11月 28日)
- 脇田浩二・大久保泰邦・J.C. バンディバス・雷 興林・M.J.D. シュルテ・CCOP-DCGM Phase 1 作業部会 (編) (2004) 東・東南アジアの数値地質図200 万分の1 (第2 版), 産総研地質調査総合センター, 数値地質図, G-2, CD-ROM.
-
- SUZUKI Atsushi, OTA Yuki, YANASE Takuya, MANAKA Takuya and KAWAHATA Hodaka (2020) Memoirs of Angkor Archaeological Site in the Kingdom of Cambodia.
-

(受付: 2020 年 4 月 30 日)