

ミャンマー・シッタウン川河口域における 潮汐流と河岸侵食に関する調査研究

南雲直子・江頭進治・Aung Myo Khaing

1. はじめに

シッタウン（Sittaung）川は、図-1に示すようにミャンマー中央部を流下し、ヤンゴン（Yangon）の東でマルタバン（Martaban）湾に流入する流域面積約36,000km²を有するミャンマーの主要河川の一つである。河口域にはエスチュアリーが発達し、両岸に広がる低地は農地として活用され多くの集落が形成されている。ところが、エスチュアリー河岸では激しい侵食が生じ、河岸線の後退によって集落や農地が消滅するなど、深刻な問題となっている。

土木研究所水災害リスクマネジメント国際センター（ICHARM：International Centre for Water Hazard and Risk Management）は、2017年より資料解析、現地観測、水理実験および数値解析法に基づいて、当該河口域における河岸侵食現象の解明を目的として研究を進めてきた。



図-1 シッタウン川流域の位置図

本稿では、これまでに得られた研究成果、及び現地調査について概要を述べる。これらは、ミャンマー運輸省水資源・河川系開発局（DWIR：Directorate of Water Resources and Improvement of River Systems）、及び東京大学の協力のもとで推進している。

2. 調査対象地域の概要

2.1 地形

シッタウン川河口域の平面形状は幅270km、長さ220km程のロート状を呈している。図-2にはその主要部を示す。写真に示すように両岸に低地が広がるが、左岸には台地や丘陵地が迫り、河岸部ではラテライトからなる段丘状の地形がみられる場所もある。エスチュアリー内部には細長い砂州がいくつも発達して流路は網状を呈し、主流路は大きく蛇行している。

2.2 気象・水文

モンスーンの影響を受けるために降水量には季節性があり、毎年5月頃から増加して7～8月頃に最も多くなる。テインザヤット（Theinzayat）地点（図-2）における年平均降水量は約3600mmである¹⁾。このような降雨特性に伴い、マダウク（Madauk）地点では8月頃に流量が最も多くなる。最近30年間（1987～2017）の観測によれば、ピーク流量が5000m³/sを超える洪水の発生は見られず、ピーク流量が4500m³/sを越える洪水は4回、4000m³/sを越える洪水は20回発生している²⁾。また、マルタバン湾の潮位差は大きく最大で4～6mに達しており³⁾、春と秋で大きくなる。

2.3 タイダルボアの発生

シッタウン川河口域では、ロート状のエスチュアリー平面形状と潮位の作用により、春と秋にはタイダルボアが発生する。タイダルボアとは潮位差の大きなエスチュアリーにおいて発生する現象で、津波のように河口から上流に向かって高速の波が

遡上する。世界的には、銭塘江（中国）やアマゾン川（ブラジル）の河口域で発生することがよく知られている。シッタン川河口域の潮汐流はタイダルボアの影響を大きく受けており、河川流との相互作用において、活発な侵食・堆積をもたらす重要な要素となっている。



図-2 調査対象地域の拡大図
(2019年2月27日撮影のSentinal-2画像に加筆)

3. 現地調査の実施状況

3.1 2017年10月の調査

2017年10月29～30日に実施した最初の現地調査では、深刻化している右岸の河岸侵食の現状把握を主な目的とした。この調査は東京大学と合同で行い、ドローンで代表侵食箇所を撮影するとともに、河床・河岸材料を採取し、粒度分析を実施した。また、水圧センサーによる水位観測や、魚影センサーを使った水深測定も実施した。図-3に調査の様子を示す。

3.2 2018年2月の調査

2018年2月16～18日に実施した調査は、タイダルボアや潮汐流が河岸部に与える影響の調査と、シッタン橋より上流の河道領域における河床・河岸材料、及び流況把握を目的に、東京大学と合同で実施した。この調査では、ママウク（図-2）においてタイダルボアを観察し、1回の潮汐現象で河岸線が約10m後退していることを確認した。また、河床・河岸材料の採取、及び粒度分析と、

ドップラー式流速計（ADCP：Acoustic Doppler Current Profiler）を用いて流速、流量、河川の断面形状などを調査した。図-4、及び図-5に調査の様子を示す。



図-3 河床材料採取の様子

3.3 2019年2月の調査

2019年2月21～22日に実施した調査では、2017年、及び2018年の調査結果や地形解析、数値シミュレーションの進捗状況を考慮しながら、河道領域、及び河口領域の河川水と、河床・河岸材料の採取、ADCPや濁度計を用いた流況や河川の断面形状の調査を行った。また、2018年に訪問したママウク地点（図-2）を再訪し、ドローンを用いてタイダルボアの遡上の状況や河岸侵食の様子を観察した。これらと合わせて、右岸に点在する集落において、河岸侵食や流路変動に関する住民の認知や、集落の成り立ちに関してヒアリング調査を行った。図-6、及び図-7に調査の様子を示す。

4. 成果の概要

シッタン川河口域の河岸侵食の実態を明らかにするにあたっては、河川流、潮汐流および流路・砂州の変動現象の評価が不可欠である。これに向け、主に地形学、及び土砂水理学の観点から以下の項目で研究を推進した。これらは、1)河岸侵食に関する地形変動解析、2)潮汐流と砂州の変動に関する数値シミュレーションである。1)については、地形図と衛星写真の判読により河岸侵食の状況と流路・砂州の変動を明らかにするとともに、河岸線の変化と集落の立地との関係について検討した。2)については、潮汐流による土砂輸送に着目した新しい解析法を提案するとともに、これに基づき、流路・砂州の変動を評価することを目指した。現地調査はこれらの解析結果の検証のため



図-4 タイダルボア通過直後の河岸侵食の様子



図-5 河岸材料採取の様子



図-6 タイダルボア遡上の様子（写真奥が下流）



図-7 住民へのヒアリングの様子

に行ったものである。現段階で得られた主な成果の概要を以下に述べる。

河岸侵食に関する地形変動解析の結果、図-2に示した調査対象地域においては、シッタン川の主流路は少なくとも過去90年間、右岸と左岸を行き来するように移動しており、河岸部において侵食・堆積を周期的に繰り返していることが明らかとなった^{4),5)}。タイダルボア通過直後の潮汐流による侵食量は大きく、河岸の底部が激しく侵食されるために土砂がブロック状に崩落し、河岸線の後退をもたらしているようである²⁾。これまでの現地調査で訪れたママウクの集落は、このような河岸線の後退によって2019年2月までに消滅し、住民らは内陸部へ避難している。

現地で採取した河床・河岸材料の分析によれば、河口域の河床材料は100マイクロメートル以下の土粒子から構成されており、その中央粒径は20～50マイクロメートル程度になっている。また、河岸材料の粒径は100マイクロメートル以下で、中央粒径は河床のものと同程度、上流河道領域の河岸材料も同程度の粒径である。これらのことから、河口域の河床材料は河岸を構成する材料の侵

食や上流河道の河岸侵食によって供給されるとともに、洪水時にwash-loadとして供給されているものと推察される²⁾。

このような場における流れと流路河床変動を評価するにあたり、流れに関する水深平均2次元質量及び運動量保存則、浮遊砂および河床材料の質量保存則に基づくシミュレーションモデルの開発に努めている^{6),7),8)}。とくに、浮遊砂および河床材料の質量保存式に含まれる侵食項には成層密度流で汎用されている連行速度の概念⁹⁾を導入している。図-8は、潮汐流による砂州の発達と流路の分裂現象に関する解析例である。

5. おわりに

本稿では、土木研究所ICHARMが実施してきたシッタン川河口域の潮汐流と河岸侵食の実態に関する調査・研究の実施状況、及び得られた主な成果について述べた。これまでの研究によって、地形変動の実態及び砂州と流路変動の機構、ならびにこれらの数値解析法に関する知見が深められた。今後、これらに関する研究をさらに深めるとともに、河岸侵食の評価ならびに河岸侵食対策に

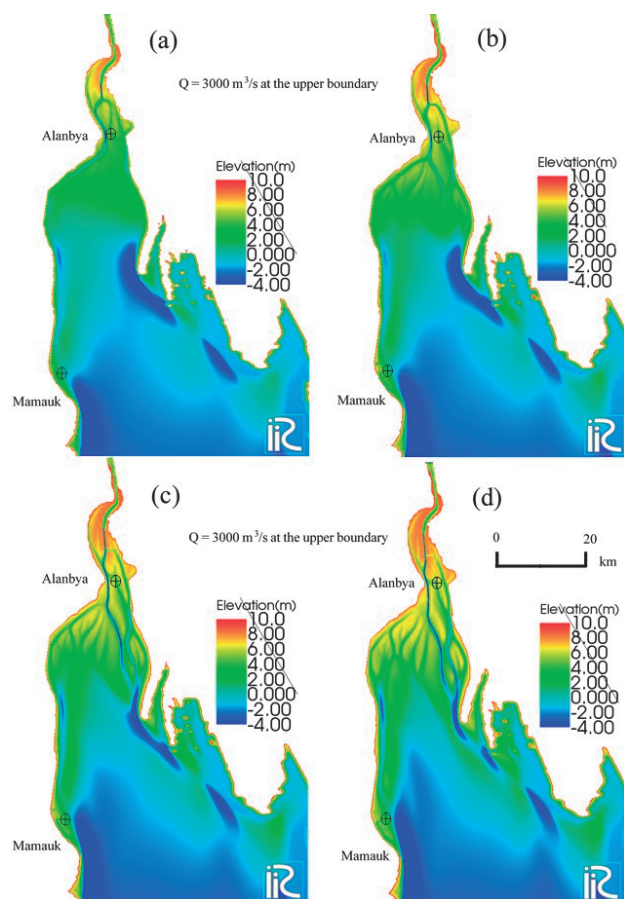


図-8 再現された潮汐周期ごとの河床変動⁶⁾
(a: 40周期、b: 60周期、c: 80周期、d: 100周期)

ついて検討を深める所存である。なお、本研究におけるICHARMの各研究者の主な役割は次のようである。連絡調整：澤野久弥・深見和彦・栗林大輔・吉野広郷・Badri B. Shrestha、研究計画：江頭進治、地形解析：南雲直子、数値解析：原田大輔・Tanjir S. Ahmed、現地計測：萬矢敦啓（兼、土研水工研究グループ）・小関博司（土研水工研究グループ）、ドローン撮影：郭 栄珠、現地調査：全員（旧所属者を含む）

参考文献

- 1) Aung, L.L., Zin, E.E., Theingi, P., Elvera, N., Aung, P.P., Han, T.T., Oo, Y., and Skaland R.G.: Myanmar climate report, METreport, No.9, 2017
- 2) Ahmed, T.S., Egashira, S., Harada, D., Yorozuya, A., Kwak, Y., Shrestha, B.B., Kuribayashi, D., Sawano, H., and Koike T.: On bank erosion in estuary of Sittaung River in Myanmar, Scour and Erosion, IX, Proceedings of the 9th International Conference on Scour and Erosion 2018, pp.161-166, 2019
- 3) Ramaswamy, V. and Rao, P.S., The Myanmar continental shelf, Chiocci FL, Chivas AR (Eds.), Continental Shelves of the World: Their evolution during the last glacio-eustatic cycle. Geological Society London Memoirs, 41, pp.231-240, 2014
- 4) 南雲直子、江頭進治：シッタウン川河口域の流路変化に関する地理学的検討、日本地理学会発表要旨集、No.95、p.18、2019
- 5) Nagumo, N. and Egashira, S.: Dynamic channel shifting and corresponding formation and destruction of villages in the Sittaung River estuary, 11th River, Coastal & Estuarine Morphodynamics Symposium, Book of Abstracts, 210, 2019
- 6) Ahmed, T.S., Egashira, S., Harada, D. and Yorozuya, A.: Sediment transportation and sand bar deformation owing to tidal currents in Sittaung River Estuary, Myanmar, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 75, No. 2, I_1027-I_1032, 2019
- 7) Ahmed, T.S., Egashira, S., Harada, D., Yorozuya, A. and Shrestha, B.: Numerical simulation of sand bar formation in Sittaung River Estuary, Myanmar, 11th River, Coastal & Estuarine Morphodynamics Symposium, Book of Abstracts, 163, 2019
- 8) Egashira, S., Harada, D. and Ahmed, T.S.: Entrainment of very fine sediment in treating the estuary bed evolution, 11th River, Coastal & Estuarine Morphodynamics Symposium, Book of Abstracts, 7, 2019
- 9) 原田大輔、江頭進治、Ahmed, T.S.、片山直哉：連行の概念を用いた河床の侵食率に関する研究、土木学会論文集B1（水工学）、Vol.75、No.2、I_967～I_972、2019

南雲直子



土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター水災害研究グループ 専門研究員
NAGUMO Naoko

江頭進治



土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター水災害研究グループ 研究・研修指導監
EGASHIRA Shinji

Aung Myo Khaing



ミャンマー運輸省水資源・河川系開発局リージョン1 ダイレクター
Aung Myo KHAING