

RURSS

Research Unit for Realization of Sustainable Society

令和5年度 研究成果報告書

Research Report FY2023

京都大学 研究連携基盤
持続可能社会創造ユニット
Kyoto University



持続可能社会創造ユニット 令和5年度 研究成果報告書

目次

化学研究所

全球規模海洋メタオミクスデータによるパルマ藻の生活史解明

Elucidation of the Life Cycle of Parmales through Global Marine Metaomics Data Analysis

伴 広輝, 桑田 晃, 緒方 博之 3

ラジカルケージド技術

Radical Caging Technology

隅田 有人, 新井 敏, 大宮 寛久 5

天然・合成漆試料の合成と特性評価：伝統的・革新的用途の発展のための知識ギャップを埋める

Synthesis and characterization of natural and synthetic lacquer samples: closing the knowledge gap for the advancement of both traditional and novel applications

ピンチェラ フランチェスカ, 吳 钊玲, 峰尾 恵人, 中村 正治, 下出 祐太郎,
フォルテ エリカ, タンブリーニ ディエゴ, ボナドゥーチェ イラリア 7

エネルギー効率と耐摩耗性を両立させる、潤滑油用多分岐ポリマー添加剤の開発

Development of Hyperbranched Polymer Additives for Lubricants that Improve Both Energy Efficiency and Wear Resistance

登阪 雅聡, 高橋 裕 9

エネルギー理工学研究所

熱・電力可変併給によるバイオマス改質と電力需給平滑化

Biomass Reforming and Smoothing of Electricity Supply-Demand by Variable Combined Heat and Power Supply

八木 重郎, 向井 啓祐, 小西 哲之, 田宮 裕之, 高山 定次, 梅澤 俊明 11

生存圏研究所

Char および液化物の同時生産に向けたバイオマス急速熱分解技術の開発

-800°C加熱時の触媒効果の検討-

Development of Fast Pyrolysis Technology for Simultaneous Production of Char and Liquids from Biomass

-Examination of the Catalytic Effect at 800°C Heating-

畑 俊充, 本間 千晶, 渡辺 隆司 13

福島県における環境放射能解析および環境回復のための連携研究

Collaborative Research on Environmental Radioactivity Assessment and Restoration in Fukushima

上田 義勝, 谷垣 実, 二瓶 直登 15

防災研究所

ドローンを用いた二酸化炭素観測手法に関する基礎研究

Basic Research of Carbon Dioxide Observation Method Using Drone

井口 敬雄, 高橋 けんし, 榎本 剛, 吉田 聡 18

ベトナム・メコンデルタの農村社会の持続可能性に対する人為的および自然的要因の影響

Impacts of anthropogenic and natural drivers on the sustainability of rural societies in the Vietnamese Mekong Delta

サメ カントウシュ, 角 哲也, 柳沢 雅之, ドアン バン ビン 22

斜面ハザード可視化ツールの構築と土砂災害レジリエンスの向上に向けた地域実践

Hillslope hazard mapping and trial implementation toward improvement of regional resilience for landslide disaster

松四 雄騎, 畑山 満則, 甲山 治, 渡邊 哲弘, 齋藤 仁, 松崎 浩之 26

インドネシアの熱帯泥炭地における洪水・火災リスクに関する研究

Flood and Fire Risk in Tropical Peatland in Indonesia

山本 エヴァ, 佐山 敬洋, 山本 浩大, 甲山 治 30

流路変動による氾濫原の地形変動特性を考慮した河川・氾濫原整備方法の検討

Suitable river regulation work considering the characteristics of floodplain topographic changes due to channel deformations

竹林 洋史, 藤田 正治, メグ ビシュワカルマ, ウメシュ シン 33

東南アジア地域研究研究所

インドネシア熱帯泥炭地の火災防災に向けた大気観測研究

Atmospheric observation study for fire prevention in Indonesian tropical peatlands

小川 まり子, 甲山 治, 山本 エバ ミア シスカ, 山本 浩大, 佐山 敬洋 35

東南アジアにおけるヒトから霊長類へのウイルス感染の特定

Identification of human-to-primates viral spillover in Southeast Asia

オフィンニ ユディル, 山田 千佳, 藤澤 道子,
坂本 龍太, ヒダヤット ヘルマン, 山崎 渉 39

全球規模海洋メタオミクスデータによるパルマ藻の生活史解明

Elucidation of the Life Cycle of Parmales through Global Marine Metaomics Data Analysis

伴 広輝¹, 桑田 晃², 緒方 博之¹

Hiroki Ban ¹, Akira Kuwata ² and Hiroyuki Ogata ¹

¹京都大学 化学研究所

Institute for Chemical Research, Kyoto University

²水産研究・教育機構 水産資源研究所

Fisheries Resources Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency

Parmales is a group of marine eukaryotic microalgae with two forms: naked flagellates and silicified cells. Although closely related to diatoms, which contribute to 20% of Earth's primary production, parmaleans are minor entities in the modern ocean. Parmales and diatoms represent contrasting entities, and characterizing their diversity and biogeography is expected to provide fundamental insights into their ecological and evolutionary strategies. In this study, we quantitatively evaluated their diversity and distribution by analyzing over 3,000 DNA metabarcoding. As a result, we confirmed that Parmales is a minor entity, both in terms of diversity and abundance. We also detailed the distribution of Parmales and found each taxonomic clade/subclade is adapted to specific ecological niche.

Key Words : *global distribution, metabarcoding, ocean, Parmales, phytoplankton*

1. はじめに

パルマ藻は、主に海洋に生息する真核微細藻類であり、シリカで出来た細胞壁を持つフェーズと細胞壁をもたない鞭毛細胞の二つの形態をその生活環に持つ¹⁻³⁾。近年の研究の発展から、パルマ藻は、同じくシリカの殻を持ち、地球上の基礎生産の約 20%を担う珪藻と姉妹群であることが明らかになった³⁾。一方で、光合成のみを行う珪藻とは異なり、パルマ藻はシリカ殻をもつフェーズで光合成を行うだけではなく、殻を持たない鞭毛細胞のフェーズでバクテリアの摂食も行う混合栄養生物であることが、培養株から得られたゲノムデータから明らかになってきた⁴⁾。しかし、これらのフェーズが実際の海洋環境においてどのような役割を持つかはほとんど解明されていない。本研究では公共データベースに公開されている全球規模の海洋メタオミクスデータを活用し、(I) パルマ藻が全球規模でどのような生息分布パターンを持っているかを明らかにすること、(II) それぞれの分布において、各パルマ藻はどのように各フェーズを切り替えているかを明らかにすること、の二つのステップからパルマ藻の生活史を解明することを試みた。研究実施期間の都合上、本報告書では、研究が完了した (I) のパルマ藻の全球規模海洋分布に関する成果について報告する。

(I)について、本研究では EukBank データベースを用いてパルマ藻の系統地理を解明することを目指した。パルマ藻と珪藻は対照的な存在であり、その多様性と生物地理を特徴づけることで、珪藻とパルマ藻の生態学的・進化的戦略の違いに対する基本的な情報が得られると期待される。EukBank データベースは公共データベースに登録されたメタバーコーディングデータ（真核生物 18S rRNA 遺伝子 V4 領域）を包括的にキュレーションして作成されたデータベースであり、15,000 を超えるサンプルを含む。EukBank データベースは 18S rRNA 遺伝子 V4 領域の amplicon sequence variants (ASVs)の配列と、各サンプルにおける ASV のカウントデータを提供している。本研究では EukBank から得られた 3,200 の海洋サンプルのデータセットと、近年新たに単離された *Tiparma*、*Tetraparma*、'*Scaly parma*'に属する新規株から得られた最新の知見と組み合わせることによって、パルマ藻の多様性と分布を細かな分類学的解像で定量的に明らかにした。

2. 方法

(1) 解析に用いるサンプルの選定

EukBankデータベースには海水や湖水、土壌など様々なバイオームに由来するサンプルが含まれている。本

研究では複数の条件からサンプルを絞り込むことによって、海洋表層に由来する3,200のサンプルを得た。

(2) amplicon sequence variants (ASVs)の分類

まず初めに公共データベース等から得られた18S rRNA遺伝子全長配列から、リファレンスとなるパルマ藻の最尤系統樹を作成した。この系統樹に対してEukBankから得られたパルマ藻のASVを最尤法によってマッピングすることによって、各ASVがこの系統樹のどのパルマ藻のクレードに属するか分類を行った。

(3) 生態学的分析

各ASVがそれぞれのサンプルにどれだけ出現するか、そのカウントデータをもとに、パルマ藻の多様性解析や分布パターンの分析を行った。また各クレードによって、分布パターン等に違いがあるかどうか検証した。

3. 結果

(1) パルマ藻ASVの全海洋分布

本研究で解析した沿岸域と外洋域の両方を含む計3,200の海洋サンプルのうち、約90%のサンプルにパルマ藻のASVが存在した(図1)。これはパルマ藻の海洋における幅広い分布を示している。その一方でパルマ藻の真核生物群集における存在量は、中央値で0.05%、平均値で0.16%であり、群集においてパルマ藻はマイナーな存在であることも示された。また、統計的手法において予測された海洋に存在する全パルマ藻のASV数(≒種数)は約316ASVであり、この数は珪藻で予測されている約10万種⁵⁾と比較すると極めて低い。これらの結果はパルマ藻が海洋において存在量の観点からも、多様性の観点からも、マイナー存在であることを示唆している。

また、パルマ藻は沿岸と外洋域の両方で、極域に多く、熱帯に向かうにつれて減少するという分布のパターンを持つことを明らかにした。

(2) クレード・サブクレードごとの分布パターン

パルマ藻ASVを、系統をもとにクレード・サブクレードごとに分類すると、それぞれのクレード・サブクレードに特有の分布パターンが存在することが明らかになった。例えば、クレード・サブクレードごとに異なる温度の選好性が見られた(図2)。他にも、著しく沿岸域のサンプルに偏って存在するクレード・サブクレードが存在した。これらの結果は各クレード・サブクレードが異なったニッチに適応していることを示唆している。

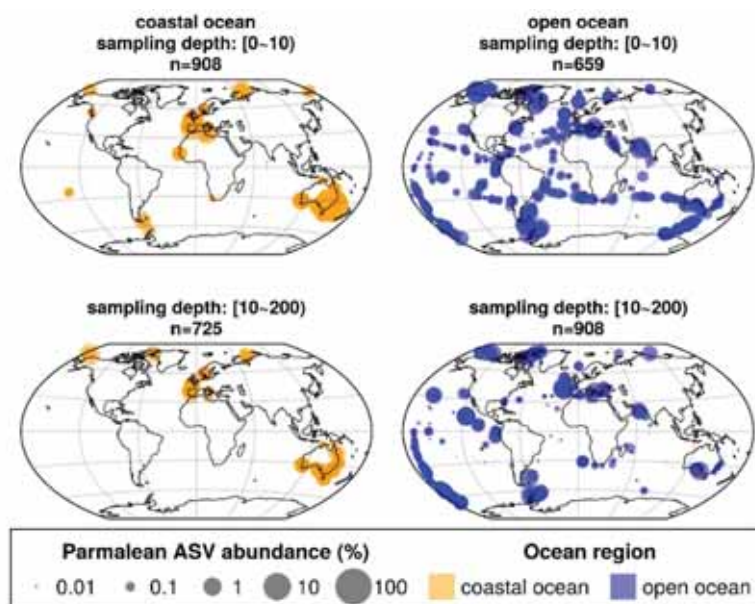


図 1. パルマ藻の全球分布

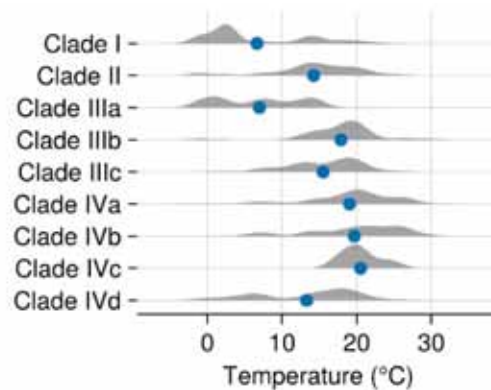


図 2. クレードごとの水温選好性

参考文献

- 1) Booth, B. C., and Marchant, H. J. (1987). Parmales, a new order of marine chrysophytes, with descriptions of three new genera and seven new species. *J. Phycol.* **23**, 245–260.
- 2) Guillou, L., Chrétiennot-Dinet, M.-J., Medlin, L. K., Claustre, H., Goër, S. L., and Vaulot, D. (1999). Bolidomonas: A new genus with two species belonging to a new algal class, the Bolidophyceae (Heterokonta). *J. Phycol.* **35**, 368–381.
- 3) Ichinomiya, M., dos Santos, A. L., Gourvil, P., Yoshikawa, S., Kamiya, M., Ohki, K., et al. (2016). Diversity and oceanic distribution of the Parmales (Bolidophyceae), a picoplanktonic group closely related to diatoms. *ISME J.* **10**, 2419–2434.
- 4) Ban, H., Sato, S., Yoshikawa, S., Yamada, K., Nakamura, Y., Ichinomiya, M., et al. (2023). Genome analysis of Parmales, the sister group of diatoms, reveals the evolutionary specialization of diatoms from phago-mixotrophs to photoautotrophs. *Commun. Biol.* **6**, 697.
- 5) Malviya, S., Scalco, E., Audic, S., Vincent, F., Veluchamy, A., Poulain, J., et al. (2016). Insights into global diatom distribution and diversity in the world's ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **113**, E1516–E1525.

ラジカルケージド技術

Radical Caging Technology

隅田 有人,¹ 新井 敏,² 大宮 寛久³

Yuto SUMIDA,¹ Satoshi ARAI,² Hirohisa OHMIYA³

¹東京医科歯科大学

Institute of Biomaterials and Bioengineering, Tokyo Medical and Dental University

²金沢大学

WPI Nano Life Science Institute (NanoLSI), Kanazawa University

³京都大学 化学研究所

Institute for Chemical Research, Kyoto University

Using our radical caging strategy to cage previously uncageable bioactive molecules, we have photocaged molecules with no general labeling sites, including acetylcholine, an endogenous neurotransmitter. Caged acetylcholine provides an unconventional tool for optopharmacology to clarify neuronal mechanisms on the basis of photo-regulating acetylcholine localization. We demonstrated the utility of this probe by monitoring uncaging in HEK cells expressing a biosensor to detect ACh on the cell surface, as well as Ca^{2+} imaging in *Drosophila* brain cells (ex vivo).

Key Words : Photocaged, C-B bond cleavage, Acetylcholine, Choline esterase

1. はじめに

ラジカルは、その発生に過酷な反応条件（高温条件・過剰な試薬添加）を必要とし、さらに、短寿命で辺り構わず反応してしまうため、細胞や生体機能に悪影響を及ぼすことが知られている。したがって、細胞生物学や化学生物学の研究分野において、積極的に利用されてこなかった。一方で、ラジカルは、水やアミド、リン酸とは、簡単には反応しないことから、細胞レベルでの多彩な用途が期待できる。本研究では、ラジカルを活用したケージド技術を開発する。

ケージド技術は、光照射に伴う化学結合の切断により、所望の時空間にて、生物機能分子を放出する（生物機能を回復する）ことができることから、生命現象の機構解明のために広く利用される。しかし、ケージド化合物（BODPYなど）の多くは、連結部位に基質由来のヘテロ元素官能基を必要とするため、その適用が、ごく一部の生物機能分子に限られている。我々は、「有機ホウ素化合物の直接光励起」に基づいたラジカル反応技術を開発している¹。添加剤を用いず、可視光のような外部刺激により、有機ホウ素化合物の直接励起、続く炭素-ホウ素結合の切断が起こり、炭素ラジカルを与える。この反応技術を活かすことで、我々は、生物機能分子に多く存在する N-メチル基における $\text{C}(\text{sp}^3)\text{-H}$ 結合のケージド技術を見出した²。直接光励起可能なヨードメチルホウ素アート錯体に対し、アセチルコリン前駆体を作用させることで、ケージド化とメチル化を同時に実現した。本研究では、アセチルコリンをケージド化し、培養細胞やハエの脳組織を用いて生理的条件下で機能することを示した。

2. 結果と考察

前駆体となる第三級アミンと PPG（光で取り外しできる保護基）となる有機ホウ素化合物を連結することで、ケージドAChの合成を達成した。このとき、PPGへの CF_3 基の導入により吸収波長の長波長化および切断速度の向上が見られた（図1A）。また、LEDライトだけでなく共焦点顕微鏡レーザー（405 nm）でも切断・放出が実現できたため、実際に細胞でのプローブとして実験を行った。表面にAChを感知して光るセンサータンパク質（図1B）を発現させた細胞を準備し、開発したケージドACh（CagMe^{CF3}-ACh）を添加しました。共焦点顕微鏡レーザーを照射したところ、有意に輝度が向上した（図1C）。

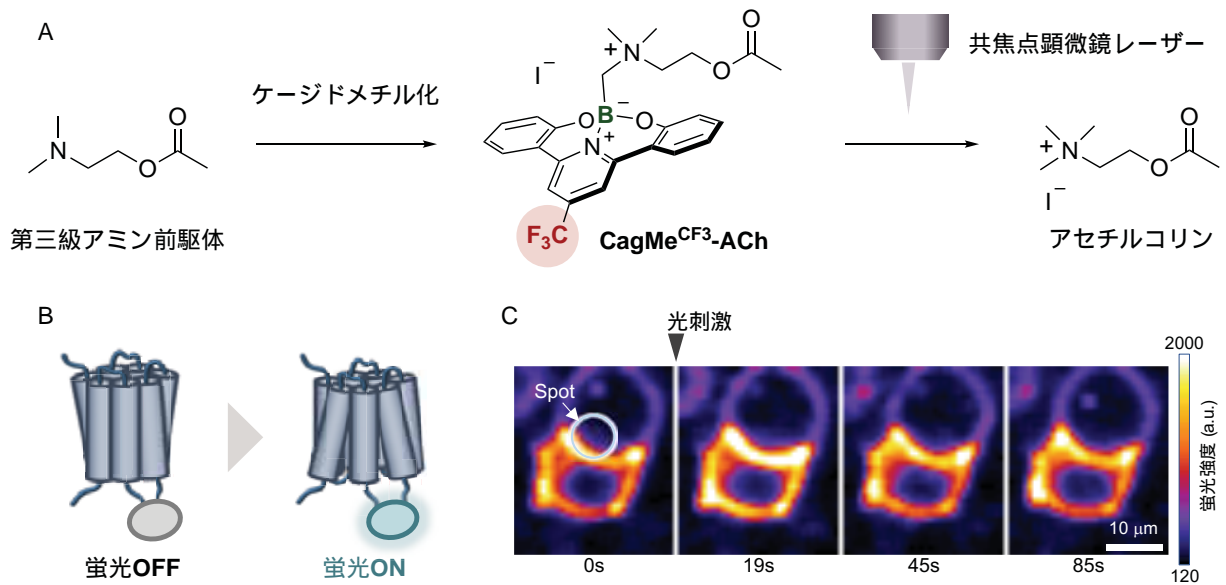


図 1. (A) ケージド ACh の合成 (B) ACh センサータンパク質 (C) ACh 濃度変化モニタリング

次に本プローブをショウジョウバエの脳を用いて、ライブイメージングを行った (図 2)。Ca²⁺イオンセンサーである jGCaMP7c を発現したトランスジェニックショウジョウバエを準備し、その脳をスライスしてケージドプローブとインキュベートした。その後、細胞実験と同様にレーザーを照射したところ、視神経葉やキノコ体領域で Ca²⁺イオンの明確な増加が観測された。以上より、本研究グループが開発したプローブは、光による ACh 濃度の時空間制御を可能にした。

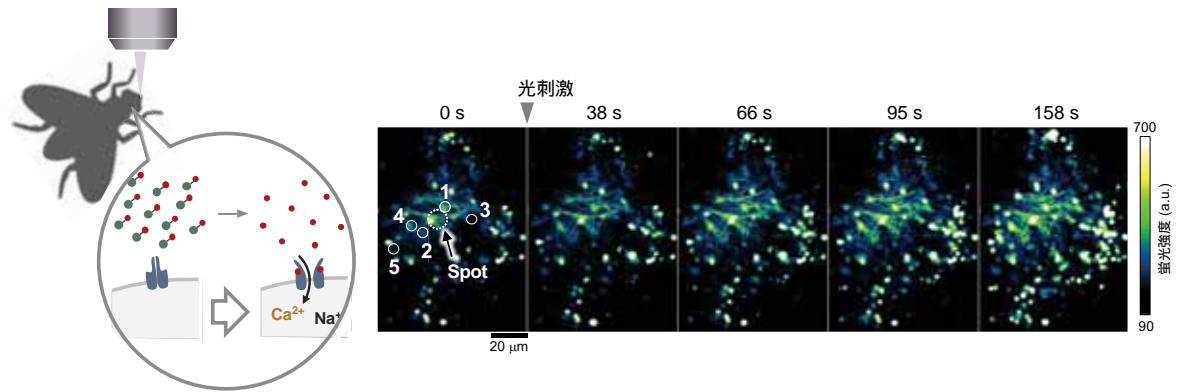


図 2. ハエの脳を用いた *ex vivo* イメージング

参考文献

- 1) Sato, Y.; Nakamura, K.; Sumida, Y.; Hashizume, D.; Hosoya, T.; Ohmiya, H. *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 9938.
- 2) Nakamura, R.; Yamazaki, T.; Kondo, Y.; Tsukada, M.; Miyamoto, Y.; Arakawa, N.; Sumida, Y.; Kiya, T.; Arai, S.; Ohmiya, H. *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 10651.

天然・合成漆試料の合成と特性評価：伝統的・革新的用途の発展のための知識ギャップを埋める

Synthesis and characterization of natural and synthetic lacquer samples: closing the knowledge gap for the advancement of both traditional and novel applications

ピンチェラ フランチェスカ¹, 吳 钊玲¹, 峰尾 恵人¹, 中村 正治¹, 下出 祐太郎², フォルテ エリカ³, タンブリーニ ディエゴ⁴, ボナドゥーチェ イラリア⁵

Francesca PINCELLA 1, Beiling WU 1, Keito MINEO 1, Masaharu NAKAMURA 1, Yutaro SHIMODE 2, Erika FORTE 3, Diego TAMBURINI 4, Ilaria BONADUCE 5

¹京都大学・化学研究所

Institute for Chemical Research, Kyoto University

²京都産業大学・文化学部 京都文化学科

Faculty of Culture, Kyoto Sangyo University

³京都大学・人文科学研究所 教授

Institute for Research on Humanities, Kyoto University

⁴Department of Scientific Research, British Museum

⁵Department of Chemistry, University of Pisa

Urushi has long been known and appreciated as a coating and adhesive material for its many qualities such as durability, stability, natural beauty and gloss. The main limitations to its widespread use are its cost, the time-consuming extraction and treatment processes, and the complex nature of this cross-linked and heterogeneous material. With this work, we aim to improve our knowledge of this complex material, its interaction with the most common additives (oil, proteins and pigments) and develop new urushi-like materials by replacing natural urushiol with synthetic catechols obtained via iron-catalyzed reactions and characterizing the synthetic and blended materials by state-of-the-art techniques, such as Py-GC/MS, SEM and solid-state NMR.

Key Words : *urushi, lacquer, total synthesis*

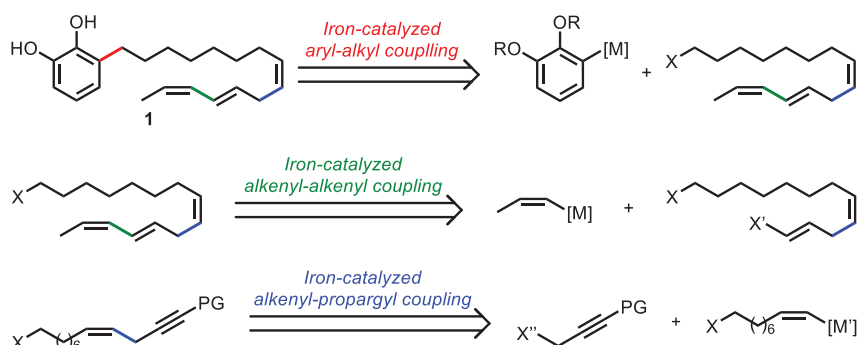
1. Introduction

The need for sustainable materials to replace petroleum-derived ones has renewed the interest toward a traditional resin that has long been used in Asian countries, *urushi* (漆) or Asian lacquer, originating from the sap of *Toxicodendron vernicifluum*. Urushi is a natural product, a water-in-oil emulsion composed of urushiol (60-80%), water (10-30%), gum (3-6%) and enzymes (2-3%). Urushi has long been employed as a coating and adhesive material for both practical and aesthetic purposes, but more recently applications of urushi in fields such as biomedical and electronics have been proposed and successfully demonstrated.^[1-3] The durability, high stability and aesthetic beauty of urushi, combined with its renewable nature, have made urushi a good candidate to become a building block for a more sustainable society. Nevertheless, several limitations exist to the use and extraction of this product (expensive, time-consuming, requiring highly skilled labor to collect the raw sap and process it). Moreover, the complex nature of this cross-linked and heterogeneous material and the fact that urushi formulations often include mixtures of several other components have also hindered a systematic and in-depth characterization of this material and its applications. With this work we aim to overcome the aforementioned limitations by replacing natural urushiol with synthetic catechols, deepen our understanding of the composition and chemical processes in natural urushi samples and develop new optimized urushi-based materials for art conservation (conservation of urushi-based artifacts, especially outside Asia, is still very challenging) and novel applications.

2. Results

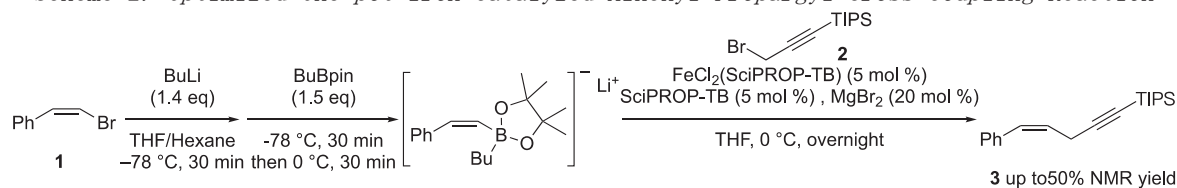
The researchers at ICR have been working on the total synthesis of the main component of urushiol, (8*Z*, 11*E*, 13*Z*)-trienyl pentadecylcatechol, via iron-catalyzed cross-coupling reactions, according to Scheme 1.

Scheme 1. Retrosynthetic Analysis of (8*Z*, 11*E*, 13*Z*)-Trienyl Urushiol



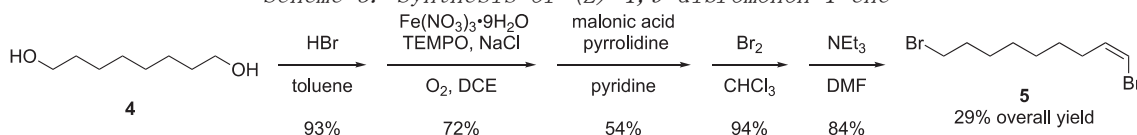
The researchers at ICR are now focusing on the research on iron-catalyzed alkenyl-propargyl cross-coupling reaction, which was envisioned to be feasible by utilizing alkenyl bromide as the starting substrate in a one-pot manner. With (*Z*)-(2-bromovinyl)benzene **1** as the model substrate, the one-pot iron-catalyzed cross-coupling reaction between alkenylbromide and propargyl electrophile was developed (Scheme 2). Reactions of (*Z*)-alkenyl bromide with BuLi, then BuBpin generates the lithium alkenylborate, which undergoes coupling with a propargyl electrophile to stereospecifically give the corresponding product with a yield of up to 50%, of which the generation steps of the alkenylborate from the alkenyl bromide are supposed to be the rate-determining steps.

Scheme 2. Optimized One-pot Iron-catalyzed Alkenyl-Propargyl Cross-coupling Reaction



Also, the key intermediate for the total synthesis of the target (8*Z*, 11*E*, 13*Z*)-trienyl pentadecylcatechol, was synthesized in 5 steps with a 29% overall yield from commercially available reagents.

Scheme 3. Synthesis of (*Z*)-1,9-dibromonon-1-ene



3. Future Plans

The researchers at ICR will continue to work on the retrosynthetic approach to urushiol and other phenolic lipids, found in urushi and other Asian lacquers. The goal is the synthesis of additional urushiol, thitsiol and laccol derivatives, to obtain a complete set of synthetic lacquer analogues. Tamburini and Bonaduce will also continue the characterization of aged lacquer films that are kept under dark or under controlled irradiation condition by analytical pyrolysis and thermoanalytical techniques. The aged samples will also be characterized by the ICR researcher by complementary techniques.

References

- Jeong, H. *et al.*: Intrinsic Hydrophobic Cairnlike Multilayer Films for Antibacterial Effect with Enhanced Durability, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2015**, 7, 26117.
- Zhao, Y. *et al.*: Synthesis of an urushiol derivative and its use for hydrolysis resistance in dentin adhesive, *RSC Adv.* **2021**, 11, 18448.
- Qi, Z. *et al.*: Synthesis and Evaluation of C15 Triene Urushiol Derivatives as Potential Anticancer Agents and HDAC2 Inhibitor, *Molecules* **2018**, 23, 1074.

エネルギー効率と耐摩耗性を両立させる、 潤滑油用多分岐ポリマー添加剤の開発

Development of Hyperbranched Polymer Additives for Lubricants that Improve Both Energy Efficiency and Wear Resistance

登阪 雅聡¹, 高橋 裕²

Masatoshi TOSAKA 1 and Yutaka TAKAHASHI 2

¹京都大学 化学研究科

Institute for Chemical Research, Kyoto University

²東北大学 未来科学技術共同研究センター

New Industry Creation Hatchery Center, Tohoku University

The challenge of enhancing machinery energy efficiency through lubrication involves a dilemma: low-viscosity lubricants reduce friction but lead to issues like sticking. Branched polymers were identified as a solution, but their controlled synthesis was lacking. We have developed a one-step synthesis method for hyper-branched polymer (HBP) with controlled structure and applied this for the synthesis of lubricant additive. Using vinyl telluride in controlled radical polymerization, we achieved improved uniformity and controllable branching. Our computer simulations revealed major formation of desired HBP structures. Friction tests on synthesized samples demonstrated superior lubricating properties, showcasing the effectiveness of HBP in reducing friction and improving energy efficiency.

Key Words : hyper-branched polymer, controlled synthesis, lubricant, friction

1. はじめに

潤滑による機械のエネルギー効率向上は、産業技術の根底にある課題の一つである。機械摺動部において、潤滑油が低粘度であるほど低摩擦となる一方、停止時や低速運転時には基材の直接接触による焼き付けや摩耗などの不具合が発生し易くなる。このように、潤滑油の低粘度化にはジレンマが潜在している。この問題に対し、分岐ポリマーの添加が有効だと報告されている。適度な分岐構造を持つポリマーは潤滑油に添加しても粘度の上昇は小さく、三次元的な形態の分子が摺動部に入り込むため基材の接触による問題を回避できる。しかしながら従来は、構造の制御された分岐ポリマーを効率的に合成する方法が無かった。また、分岐ポリマーの構造と潤滑特性の関係は不明確であり、適切な分岐ポリマー構造設計指針が欠如していた。

我々は構造の制御された多分岐ポリマー (HBP) の単段階合成技術 (図1) を開発しており¹⁾、これを潤滑油用多分岐ポリマー添加剤に適用することを着想した。本合成技術では、有機テルル化合物を連鎖移動剤 (CTA) として用いた制御ラジカル重合 (TERP) の系中に分岐モノマーとしてビニルテルリド (VT) を添加する。従来の分岐モノマーと異なり、VTはポリマーの一部に組み込まれた後にのみ、分岐鎖の成長開始点として作用を始める。この特長により、得られるHBPは分子量の均一性が格段に向上し、また、[CTA]/[VT]/[モノマー]のモル比を変えることにより、分岐数の制御も可能となる。

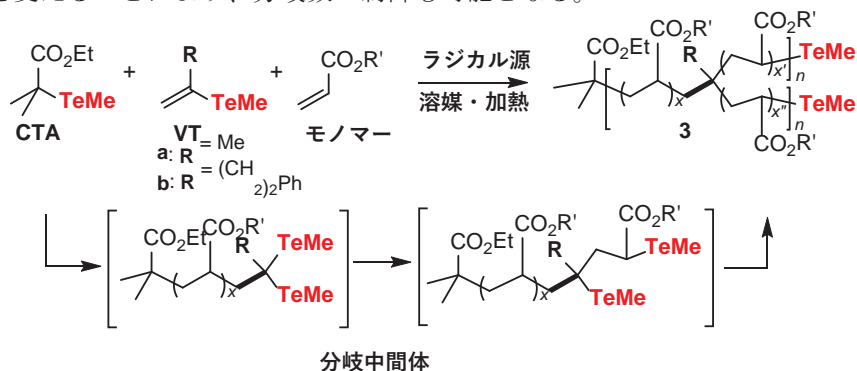


図1. 構造制御されたHBPの合成スキーム

2. 結果と考察

我々の開発した技術で合成される HBP は構造の制御が可能であるが、完璧ではない。実際にどのような構造の分布があるかを調べるため、コンピュータシミュレーションを行った²⁾ (図2)。このシミュレーションにより、主要な生成物は分子設計として意図した構造を持つことを確認した。潤滑油添加剤としては、ベースオイルへの溶解性を考慮し、長鎖アルキル基を有するオクタデシルアクリレート (OA) をモノマーとして選択した。

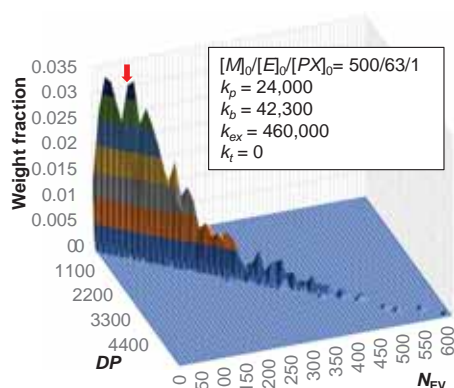


図2. 分岐構造分布のシミュレーション結果

表1. 潤滑油添加剤試料

sample	[CTA]/[VT]/[OA]	分子量分散度	絶対分子量 ($\times 10^4$)
1	1/0/278	1.28	8.6
2	1/0/950	1.33	25.2
3	1/7/950	2.01	29.5
4	1/31/950	2.02	31.0
5	1/14/980	2.40	42.1

試料として表1に挙げた直鎖ポリマー (sample 1, 2) および HBP (sample 3-5) を合成し、ベースオイルであるポリ α オレフィンに溶解して測定試料とした。予備検討の結果、sample 3 が最も良好な潤滑特性を示すと予想された。そこで摩擦試験を行ったところ、図3の様な結果が得られた。この図で横軸が左に行くほど低速かつ高圧力であり、基材同士の接触による摩擦が発生し易い状態に相当する。この様な状態において、ベースオイル単独では摩擦係数が大幅に上昇したが、HBP を添加した場合は全く摩擦係数の上昇が観察されなかった。この結果は、HBP の添加が摩擦の低減、および、その結果としてのエネルギー効率向上に有効であることを示す。

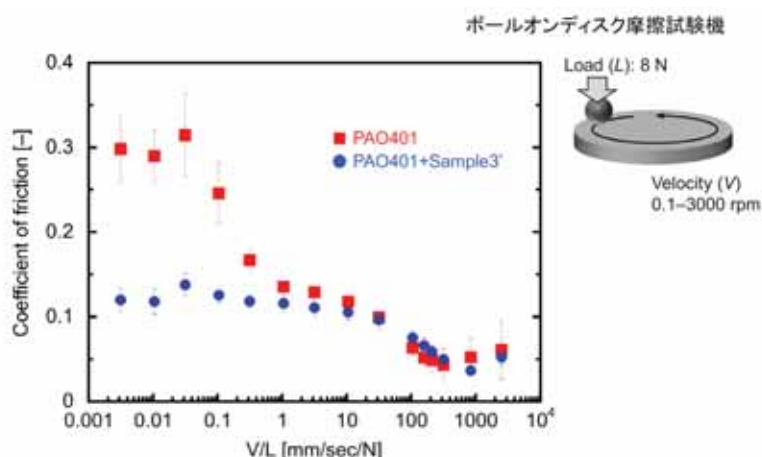


図3. 摩擦試験の結果

参考文献

- 1) Lu, Y., Nemoto, T., Tosaka, M., Yamago, S.: Synthesis of structurally controlled hyperbranched polymers using a monomer having hierarchical reactivity, Nature Communications, Vol. 8, article number 1863, 2017
- 2) Tosaka, M., Takeuchi, H., Kibune, M., Tong, T., Zhu, N., Yamago, S.: Stochastic Simulation of Controlled Radical Polymerization of Dendritic Hyperbranched Polymers, Angewandte Chemie International Edition, Vol. 62, article number e202305127, 2023

熱・電力可変併給によるバイオマス改質と電力需給平滑化
*Biomass Reforming and Smoothing of Electricity Supply-Demand by Variable
Combined Heat and Power Supply*

八木 重郎¹, 向井 啓祐¹⁻², 小西 哲之³, 田宮 裕之⁴,
高山 定次², 梅澤 俊明³

Juro Yagi 1, Keisuke Mukai 1-2, Satoshi Konishi 3, Hiroyuki Tamiya 4, Sadatsugu
Takayama 2 and Toshiaki Umezawa 3

¹京都大学 エネルギー理工学研究所

Institute of Advanced Energy, Kyoto University

²核融合科学研究所

National Institute for Fusion Science

³京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

⁴京都大学 エネルギー科学科

Graduate School of Energy Science, Kyoto University

This study focused on converting biomass resources as a variable cogeneration source of heat/electricity using nuclear energy. Specifically, microwave pyrolysis/gasification experiments of biomass in a steam atmosphere were conducted, assuming that heat generates steam and electric power is used for microwave oscillation. Cellulose was used as a simulated biomass sample. Microwave heating at 800 °C for 2 hours was conducted. As a result, the yield of hydrogen increased with the feeding of steam. In the future, the energy required for steam generation and microwave oscillation will be calculated, and the feasibility of applying the variable supply of heat/power by nuclear energy to the reforming system of biomass resources by microwave heating will be examined.

Key Words : Biomass, microwave pyrolysis, steam, fusion

1. はじめに

ゼロエミッションの視点で原子力エネルギーの利用は有効であるが、そのエネルギーを有効利用するという視点では廃熱が有効に利用できていない。これは熱利用の観点で有効な人口密集地への設置が容易でないことに起因し、先進エネルギーとして期待される核融合も同様の問題に直面すると予想される。一方で、そうした地域においては農業・林業に由来するバイオマス資源が潤沢でもある。バイオマス資源の熱・マイクロ波処理等による改質は先行研究例があるが、ここに廃熱を併給することにより、基本的に吸熱反応であるガス化等の反応の底上げが期待できる。近年では太陽光発電の大幅な拡充により、日中の電力が余剰となることも多い。日中の余剰電力の有効活用の視点でもバイオマスの改質は有効であるが、電力グリッド内に分散する余剰電力の発生源から有効にエネルギーを回収・集約するには、大型電力システムの根元にあたる大型発電所の近傍は電力インフラの追加整備を要しない有効な立地といえる。そこで本研究では、核エネルギーによる熱/電力の可変併給により、外部電力の消費/供給の負荷・環境変動を吸収し、バイオマス資源の改質を行うシステムの構築を目指す。熱をバイオマス資源の水蒸気発生、電力をマイクロ波発振のエネルギーに利用することを想定し、水蒸気雰囲気におけるバイオマスのマイクロ波熱分解・ガス化実験を実施する。

2. 実験手法

本実験では、様々なバイオマス資源に含まれているセルロースをバイオマス資源の模擬試料として用いた。また、マイクロ波熱分解・ガス化においてバイオマス資源を効率よく加熱するためにマイクロ波吸収材料が加えられる[1,2]。本実験ではマイクロ波吸収能力が高く、バイオマス資源及びガスの改質反応効果が期待されるマグネタイトをマイクロ波吸収材料として用いた。実験装置の概要を図 1 に示す。セルロース粉末 (粒径 38 μm) とマグネタイト粉末 (粒径 1 μm 以下) の混合粉末は石英管 (内径 36 mm) 内に装荷した。この石英管をマイクロ波加熱装置内に設置した後、石英管内の空気をパージするために Ar ガスを 500 ml/min で導入した。石英管内雰囲気 Ar ガス置換を四重極質量分析計で確認後、マグネトロン (2.45 GHz, 最大出力 1500 W) 4 台の出力を 1 台あたり 200 W に設定し、マイクロ波加熱を開始した。このとき同時に 150 °C の水蒸気

(300 ml/min)と Ar ガスの混合ガスを石英管内に供給した。マイクロ波加熱は2時間実施し、石英管から発生する揮発性物質は水冷却器(5℃)と-45℃の冷却器(2台)を通した後にガスクロマトグラフィーを用いて分析した。マイクロ波加熱の温度は放射温度計を用いて測定し、800℃で推移するようにマイクロ波電力を調整した。

3. 結果・考察

図2にマイクロ波加熱(MWH)800℃における水蒸気添加の効果を示す。水素と二酸化炭素の生成量は水蒸気を加えることでそれぞれ11, 4 mmol/g-セルロース増加した。一方で一酸化炭素は2.5 mmol/g-セルロース減少した。これは水性ガスシフト反応($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$)が要因と考えられる。また、水蒸気添加による水素と二酸化炭素の増加率はそれぞれ3.6倍, 1.8倍と水素の方が高かった。これは炭化物系残渣の水蒸気ガス化反応($\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$)により水素が生成されたためと考えられる。 H_2 および CO は物質当たりではほぼ同じ燃焼熱を持つことから、セルロースのマイクロ波熱分解・ガス化において水蒸気を添加することで、水性ガスシフト反応や炭化物の水蒸気ガス化反応が進行し、エネルギーのガス転換性が向上すること確認された。

4. 結論・今後の展望

本研究は核エネルギーによる熱/電力の可変併給先としてバイオマス資源の改質に着目した。具体的には熱をバイオマス資源の水蒸気発生、電力をマイクロ波発振のエネルギーに利用することを想定し、水蒸気雰囲気におけるバイオマスのマイクロ波熱分解・ガス化実験を実施した。バイオマスの模擬試料としてセルロースを用い、800℃のマイクロ波加熱を2時間実施した結果、水蒸気を加えることで水素生成量が向上した。今後、水蒸気発生とマイクロ波発振に必要なエネルギーを算出し、核エネルギーによる熱/電力の可変供給がマイクロ波加熱によるバイオマス資源の改質システムへの適用の妥当性を検討する。同時に、水蒸気雰囲気におけるマイクロ波加熱のバイオマス資源の改質システムにおいて、エネルギー消費量(水蒸気発生とマイクロ波発振に必要なエネルギー量)に対するガスの低位発熱量の比が最大となる水蒸気供給流量、温度等のパラメータを実験的に最適化も行う。

参考文献

- [1] Zhang Z, Huang K, Mao C, Huang J, Xu Q, Liao L, et al. Microwave assisted catalytic pyrolysis of bagasse to produce hydrogen. *Int J Hydrogen Energy* 2022;47:35626–34. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2022.08.162>.
- [2] State RN, Volceanov A, Muley P, Boldor D. A review of catalysts used in microwave assisted pyrolysis and gasification. *Bioresour Technol* 2019;277:179–94. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2019.01.036>.

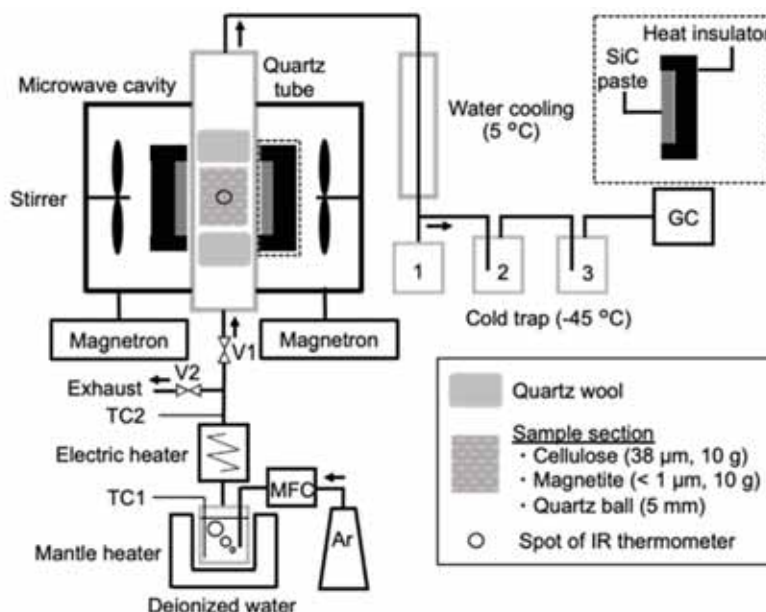


図1 水蒸気雰囲気におけるセルロースのマイクロ波熱分解・ガス化実験装置

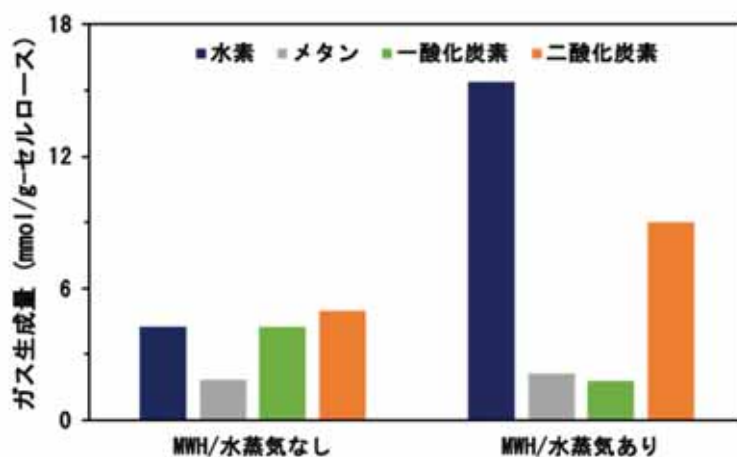


図2 マイクロ波加熱 (MWH) 800℃における水蒸気添加の効果

Charおよび液化物の同時生産に向けた バイオマス急速熱分解技術の開発 -800°C加熱時の触媒効果の検討-

Development of Fast Pyrolysis Technology for Simultaneous
Production of Char and Liquids from Biomass - Examination
of the Catalytic Effect at 800°C Heating-

畑 俊充¹, 本間千晶², 渡辺隆司¹

Toshimitsu Hata 1, Sensho Honma 2, Takashi Watanabe 1

¹京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

²北海道立総合研究機構林産試験場

Forest Products Research Institute, Hokaido Forestry Research Organization

Renewable biomass resources are increasingly used for producing chemicals and functional materials. This study utilized fast pyrolysis of cedar wood powder with pulse current heating to produce aromatic chemicals and functional charcoal. The study also examined the influence of the reaction tube material on the pyrolysis process and the resulting chemical composition and micromorphology of the residues. The thermal analysis at 800°C revealed consistent weight loss rates across varying heating speeds, with titanium addition effectively enhancing the weight loss. Elemental analysis confirmed steady elemental composition in cedar wood at different heating rates, noting titanium's notable increase in nitrogen content.

Key Words : wood biomass; fast-pyrolysis; pyrolysis residue; scanning electron microscopy

1. はじめに

化石資源の枯渇と環境劣化が明らかになり、化石資源以外から有用な化学物質を得るための技術開発が世界的に注目されている。その技術開発において、未利用の植物資材から化石資源の代替となる有用な化学物質を生産することが必要である。触媒の存在下での木質バイオマスの急速熱分解により、化成品原料やガソリン成分に匹敵する芳香族化合物を得ることができるだけでなく、熱分解残渣（チャー）を機能性材料に展開することも求められている。未利用バイオマスを化成品原料やガソリン成分と同じ芳香族化合物に転換し、植物由来の有用化学物質（化成品原料、エネルギーなど）を安定的に供給することに加えて、熱分解残渣を環境資材に変換することで、ゼロエミッション型の循環システムの構築が可能となる。

豊富な木質バイオマスを原料とした化学品の製造の際に、バイオマスを迅速かつ効率的に化学品に変換する上で、炭素化は重要な技術の一つである。化石資源の一部を再生可能資源由来の炭素で代替しようとする化学産業において、炭素化技術はその動きを支えているといえる¹⁾。本研究では、木質バイオマスから得られる液化物および熱分解残渣を有用物質として活用するために、800°Cでの熱処理を行い、試料重量減少挙動、発熱・吸熱挙動、化学構造を明らかにした。電子顕微鏡による微細構造の観察により、触媒添加や昇温速度の影響についても検討した。

これにより、高温条件下でのバイオマス由来物質の実用的な応用可能性を探究した。

2. 実験方法

原料：北海道産トドマツ (*Abies sachalinensis*) 材粉碎物、銅粉末和光純薬 75 μ m、99.9%、チタン粉末和光純薬 45 μ m、99.9%を使用した。トドマツ木粉と銅粉末を重量比 7:3 としてメノウ乳鉢に入れ、また、トドマツ木粉とチタン粉末を重量比 7:3 としてメノウ乳鉢に入れ、混合により試料調製を行った。

熱処理条件：次の条件で熱処理を行った：窒素気流下 (200ml/min) ,昇温速度 10-40 $^{\circ}$ C/min、800 $^{\circ}$ C到達後 3 分間保持し、自然放冷した。

熱処理に伴う重量減少、発熱・吸熱挙動、元素分析による熱分解残渣化学組成、FT-IR スペクトル、SEM 像による熱分解残渣化学構造と形態観察による検討を行った。

熱分析：株式会社リガク TG-DTA TG8120 を用い、窒素気流下 (200ml/min) 、室温 \sim 800 $^{\circ}$ C、昇温速度 10, 20, 40 $^{\circ}$ C/min の条件で熱重量分析を行った。

元素分析：柳本製作所(株) CHN 分析計 MT-5 を使用し、炭素(C)、水素(H)、窒素(N)含有率(%)を測定した。酸素(O)含有率(%)は差分により算出した。

FT-IR スペクトル：日本分光(株)FT/IR-4200 を用い、Kbr 錠剤法により測定した。

SEM 観察：日本電子株式会社製走査電子顕微鏡 JSM5310 型により熱分解残渣の微細形態を観察し、触媒添加や昇温速度の影響の有無を検討した。

2. 結果と考察

熱分析結果からは、今回の 800 $^{\circ}$ Cの熱処理条件において、昇温速度の相違による重量減少率の顕著な変化は確認されなかった。しかし、銅を添加することで木粉のみの場合と比較して熱分解残渣が多く得られたことが示された。また、チタンの添加によって重量減少率が増大する傾向が示され、熱分解残渣の採取を優先する場合には銅の添加、ガスや液化物の採取を優先する場合にはチタンの添加が適していると考えられる。

電子顕微鏡による観察では、銅添加熱分解残渣とチタン添加熱分解残渣の両方が検討された。銅を添加した熱分解残渣の断面には、触媒反応により銅がサンプルを覆っている様子が明らかになった。また、チタンを添加した熱分解残渣では両者が接している領域において、触媒反応の痕跡が確認された。この反応により、チタン添加サンプルの重量減少率が大きくなったことが推測される。

参考文献

1) Honma, S.; Hata, T. et al; Ohashi, Y.; Sulisty, J.; Watanabe, T.; Yoshimura, T., J. of Chemical Technology & Biotechnology, 92 (3), pp. 522-529 (2017)

福島県における環境放射能解析および環境回復のための連携研究 Collaborative Research on Environmental Radioactivity Assessment and Restoration in Fukushima

上田 義勝¹, 谷垣 実², 二瓶 直登³

Yoshikatsu UEDA¹, Minoru TANIGAKI², and Naoto NIHEI³

¹京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

²京都大学・複合原子力科学研究所

Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science

³福島大学・食農学類

Faculty of Food and Agricultural Sciences, Fukushima University

More than ten years after the 2011 East Japan Great Earthquake and the subsequent nuclear powerplant disaster, Fukushima Prefecture continues to grapple with environmental radioactivity issues. Our research focuses on analyzing this situation using the KURAMA-II system (Kyoto University RADIATION MAPPING system-II) for real-time radiation measurement. This method has enabled detailed radiation level assessments in the region. Alongside field analysis, we have fostered interdisciplinary collaboration through 13 symposiums (RISH Symposiums) since 2011. These forums have been instrumental in sustaining research partnerships and sparking discussions on new disaster prevention and mitigation strategies. A key part of our recent work involves developing camera imaging-based location capture technology, aimed at enhancing real-time location detection. This ongoing project, initiated last year, is pivotal in advancing our understanding of and response to environmental radioactivity in Fukushima. Our study not only addresses the immediate challenges in Fukushima but also contributes to the broader fields of environmental monitoring and disaster management.

Key Words : Fukushima, Radioactivity, KURAMA-II, Location Technology

1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災により原発事故が発生し、10年以上が経過した今でも福島県周辺の環境放射能問題は継続している。我々はこの環境放射能解析のため、歩行サーベイ(KURAMA-II, Kyoto University RADIATION MAPPING system-II)による環境放射能のリアルタイム測定をこれまで行ってきた。また、福島県における連携支援のための研究について、学際的な研究者同士の交流と、一般向けのシンポジウム(生存圏シンポジウム)を震災当初から計13回行い、連携のための継続研究のほか、今後の防災・減災に向けた新たな研究課題についても活発に議論してきている。

本研究テーマでは、昨年度より継続して開発を進めているカメラ撮像による位置捕捉技術の調査研究をすすめてきている。今年度は、リアルタイム位置検出に向けた開発環境の整備と、そのための検討を行ってきた。

2. 連携支援のためのシンポジウム開催

2011年の東日本大震災発生から、我々は環境放射能解析と、その復興支援のための研究を現在まで継続してきている。2023年度も13回目となる生存圏シンポジウム(第510回生存圏シンポ)を12/21-22の期間開催し、活発な議論を行ってきた。研究対象が特に「福島」という分野に関連しない大きなキーワードであるため、学際的な研究課題もかなり多い。そのため、これまで開催してきた福島関連の生存圏シンポジウムについてまとめる事は、今後新しい研究課題を発掘するのに大いに役に立つと考えている。具体的には、参加人数の変遷の他、開催毎にアブストラクトや発表資料を集めているため、その資料データを統計解析し、頻出する単語についてキーワード解析する事で、各シンポジウムの傾向を考察しながら、今後のシンポジウムの方向性についても議論する。

(1) 生存圏シンポ「東日本大震災以降の福島県の現状及び支援の取り組みについて」

2011年度から開催している福島県の支援研究シンポジウムとして、「東日本大震災以降の福島県の現状及び支援の取り組みについて」を毎年開催している。このシンポジウムは、一般向け開催の他、研究者のみの研究集会としても開催を行ってきており、開催場所は福島、京都、東京及びオンラインにて開催してきた。

参加人数の推移を図1に示す。特に震災直後は一般向けの開催として非常に多くの参加があったが、2014年度から2017年度までは、研究者のみの集会、また海外研究者との議論の場として少人数での開催も行っている。その後、2018年度からは複合原子力科学研究所との合同開催として開催し、ほぼ毎年一定数の参加がある。2018年以降は企業や自治体からの参加も多く、ここ数年は国内他府県での環境放射能計測技術への展開についての話題など、新しい話題も増えつつある。

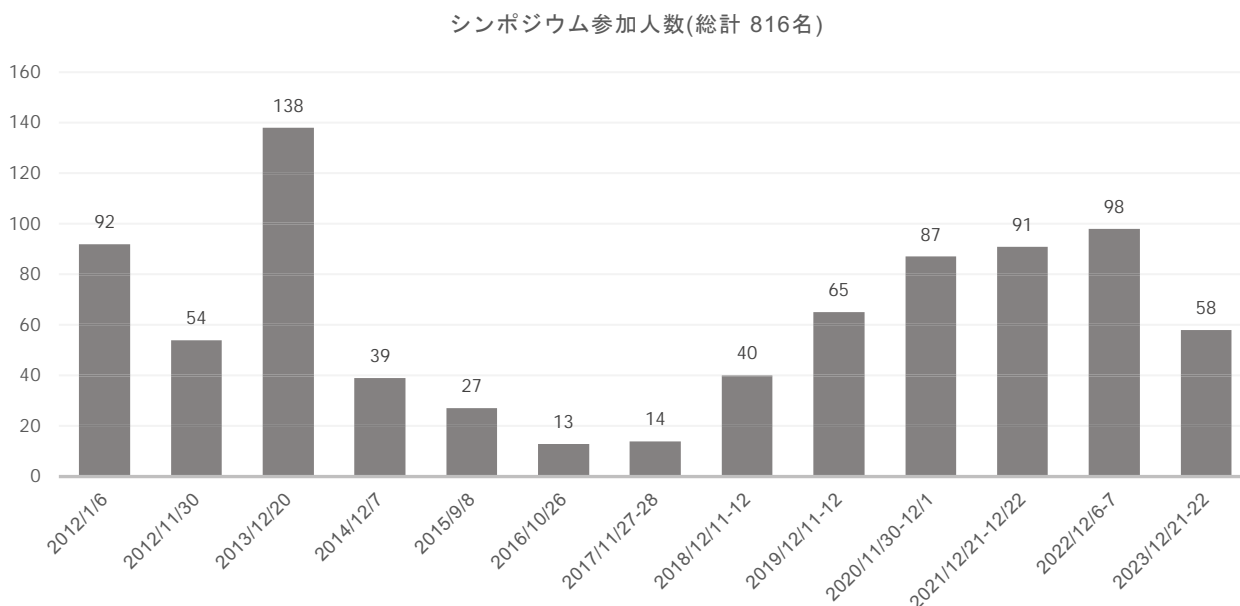


図1. これまでの生存圏シンポ参加人数の推移

(2) 生存圏シンポの概要キーワード解析

これまで開催してきたシンポジウムにおいては、発表者からの資料を毎年集め、概要資料として残してきている。この概要資料について、テキストデータを抽出し、そのテキストデータを基にR言語を用いたキーワード抽出を行った。図2に、一例として2011年度と2022年度の生存圏シンポのキーワード抽出結果を図に示す。各単語の大きさが、頻度合いを示す。



図2. 2011年と2022年の生存圏シンポのキーワード解析結果

10年経過による違いとしては、具体的な研究キーワード（ナノバブルなど）が変化している他、特に2022年度では各研究機関の名称が増え、参加機関が幅広くなっている点などがわかる。また、各年度のキーワード抽出を表1に示す。2016年度は国際シンポとして開催したため、キーワードが英語のみになっているが、おおよその傾向としては、やはりセシウムがキーワードとして頻出している他、重要なキーワードについてはそこまで大きな変化が無い様にもみられる。その一方で、2011年からの流れをみると、除染のための「洗浄」技術が中心であった傾向から、徐々に「計測」や「サーベイ」に観点がうつっていき、長期間の変化として「土壌」環境の具体的な調査に関心が移りつつあることが分かる。

表 1. 各年度のキーワード抽出結果

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
京都大学	0.010 放射性セシウム	0.011 水	0.012 福島県	0.015 cs	0.014 cs	0.011
土壌	0.010 測定	0.009 微細気泡	0.009 京都大学	0.011 環境	0.012 fruit	0.007
放射線	0.009 水	0.008 セシウム	0.008 標本	0.011 試料	0.010 trees	0.006
洗浄	0.008 土壌	0.007 cs	0.008 植物	0.010 京都大学	0.010 soil	0.006
福島県	0.008 気泡	0.007 洗浄	0.007 kuramail	0.008 pu	0.009 leaves	0.004
分析	0.008 吸収	0.006 福島県	0.007 支援	0.008 測定	0.009 washing	0.004
効果	0.008 調査	0.006 事故	0.006 kurama	0.007 研究	0.009 peach	0.004
ナノバブル	0.007 福島県	0.006 放射性セシウム	0.006 測定	0.007 福島県	0.008 fruits	0.004
セシウム	0.007 セシウム	0.006 気泡	0.006 研究	0.006 y	0.007 bark	0.004
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
福島県	0.014 除染	0.008 トリチウム	0.006 cs	0.028 未作付	0.010 jaea	0.015
研究	0.009 測定	0.007 濃度	0.006 有機物	0.015 bq	0.009 cs	0.011
事業	0.008 福島県	0.005 bq	0.005 土壌	0.012 土壌	0.009 京都大学	0.011
kuramail	0.008 変化	0.004 吸収	0.005 nacl	0.011 cs	0.008 京都大学	0.010
測定	0.008 放射線	0.004 kuramail	0.005 溶存	0.010 濃度	0.008 環境	0.009
福島	0.006 地域	0.004 cm	0.004 kg	0.010 浜	0.008 放射性セシウム	0.009
サーベイ	0.005 福島	0.004 線量	0.004 吸着	0.009 作	0.007 吸収	0.008
セシウム	0.005 土壌	0.004 分布	0.004 センター	0.008 地域	0.007 カリ	0.008
kurama	0.005 データ	0.004 結果	0.004 環境	0.008 田	0.007 センター	0.008

3. 歩行サーベイのリアルタイム位置検出技術開発の現状

福島県周辺の環境放射能汚染の経時的変化について、これまで生存圏研究所と福島大学、複合原子力科学研究所と共同で、歩行サーベイ（KURAMA-II, Kyoto University RAdiation MApping system-II）による環境放射能のリアルタイム測定を行ってきた。森林や山間部における歩行サーベイでは、GPS からの電波が届きにくく、計測位置がずれてしまう事が多い。また、山間部にはホットスポットと呼ばれる環境放射能が傾斜面にて集積している場所などがあり、傾斜状態の状況を確認できれば、新しい計測技術としても非常に有効な手法となる。この問題解決のため、我々はこれまでに 3 次元マッピングを行う事で、計測位置情報を計測してきている。2022 年度まで用いていた手法では、撮像データを一旦パソコンに取り込み、その後時間をかけて位置情報を検出していたため、リアルタイム計測が出来ていなかった。そのため、今年度より、スマートフォンの位置捕捉処理を使ったソフトウェア解析を検討している。現時点ではまだ解析結果は示せていないが、その解析手法について紹介する。

(1) スマートフォンを用いたリアルタイム位置捕捉と KURAMA-II 位置情報との比較

Google が開発した ARCore は、Android スマートフォン向けの AR 開発プラットフォームである。ARCore は、Visual Odometry 技術を利用して、スマホのカメラの位置と姿勢をリアルタイムで追跡する事が可能である。本研究課題では、ARCore に対応しているスマートフォンを用い、この技術開発のために必要なソフトウェア（Android Studio, Unity, ARCore SDK など）の環境を構築しつつ、Motion Tracking（位置推定）解析が行えるスマートフォンアプリを開発する。開発後は、KURAMA-II と連携するための計測データセット（3 次元座標と計測時の時刻情報）を保存できるようにし、KURAMA-II 計測結果と比較する予定である。

(2) SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技術を用いた計算機上での位置捕捉技術開発

これまでに撮影した動画での位置捕捉解析では、解析は可能なものの、解析に必要な時間が非常に膨大なものであった。その理由の一つには、元々が 3 次元構造解析のソフトウェア（3DF Zephyr）を流用しており、不要な構造解析プログラム処理も行ってしまっていたことが原因である。そのため、位置捕捉情報のみに特化して解析を行うため、SLAM 技術を用いて位置情報を検出する試みを行う。用いるソフトウェアは ORB-SLAM2 を採用し、その処理性能などを確認する。スマートフォンでの計測技術と同時に開発する事で、汎用性や精度においてどちらが有効か確認していく予定である。

参考文献

- 1) M. Tanigaki, R. Okumura, K. Takamiya, N. Sato, H. Yoshino, H. Yoshinaga, Y. Kobayashi, A. Uehara, and H. Yamana, "Development of KURAMA-II and its operation in Fukushima," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 781, pp. 57-64, 2015.
- 2) 上田 義勝, 杉山 暁史, 徳田 陽明, 二瓶 直登, 谷垣 実, 東日本大震災から10年を迎えて（福島県における支援研究）, 生存圏研究, ISSN1880-649X_No.017, 2021.11
- 3) Y. Ueda, N. Nihei, R. Norarat, M. Tanigaki, Correlation Between Radiation Measurement on the Field Slopes Using KURAMA-II(Kyoto University RAdiation MApping System) and Environmental Radioactivity in the Soil Depth Direction, In Proceedings of the Proceedings of the International Conference on Radioscience, Equatorial Atmospheric Science and Environment and Humansphere Science, 2021, pp. 327-334., 10.1007/978-981-19-0308-3_27, 2022/9/20
- 4) 上田 義勝, 梅澤 俊明, 生存圏ミッション研究のキーワード統計解析, 京都大学生存圏研究所, 18, 35-45, 2022

ドローンを用いた二酸化炭素観測手法に関する基礎研究

Basic Research of Carbon Dioxide Observation Method Using Drone

井口 敬雄¹, 高橋 けんし², 榎本 剛¹, 吉田 聡¹

Takao IGUCHI 1, Kenshi TAKAHASHI 2,
Takeshi ENOMOTO 1 and Akira Yoshida 1

¹京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

²京都大学 生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

Observation of vertical profile of CO₂ above various land uses was implemented using drone. The results showed that there are several issues to be solved. The airflow generated by a drone stirs the surrounding air. In addition, the CO₂ sensor responds to the change of concentration with a time lag. We must consider both these conflicting effects and find out optimal upward speed of drone and algorithm for deriving vertical concentration gradient from observation data.

Key Words : *drone, CO₂, vertical profile, sensor*

1. はじめに

大気中の二酸化炭素(CO₂)の増減は化石燃料燃焼などの人間活動による排出と、海洋や陸上生態系による吸収の収支が大きな割合を占めるが、吸収源についてはまだ不明な点が多く、特に陸上生態系についてはその活動が気候の変動に敏感であることが吸収量の推定を難しくしている(IPCC, 2021)¹。地表面からのCO₂フラックスを推定するには全球を網羅した濃度観測データが必要であるが、地上観測も十分とはいえず、上空の濃度のデータになるとさらに少ないのが現状である。それでも上空のCO₂観測はCONTRAIL等の航空機観測プロジェクトによってグローバルなスケールでは充実しつつあるが、地表付近の上空データは依然として少ないままである。より正確なCO₂フラックスの推定のためにはより正確なCO₂の鉛直濃度プロファイルが必要であり、そのためにも地表付近における上空のCO₂濃度の観測は必要であると思われる。

上空のCO₂濃度を測定する手段は航空機の他にゾンデ、タワーなどがあるが、機動性、観測頻度、高度、鉛直解像度等についてそれぞれ一長一短があり、さらに共通してコストの問題が存在する。これらの観測手法と比較すると、ドローンを用いた観測は比較的低いコストで、様々な場所(条件によっては事前の許可が必要)にて、高い鉛直解像度で測定を行うことができる。

本研究ではドローンを用いて上空のCO₂濃度の観測を行い、その結果を解析することによって、この観測手法の課題を明らかにするとともに、最適な観測方法の検討を行った。

2. 観測機器

本研究ではドローン(DJI社製 Matrice600 Pro, 防災研究所気象水文リスク情報分野より貸与)(図1)にCO₂センサー(村田製作所製), 風速計(Anemoment社製 Trisonica mini), 気象センサー(Internet System社製 iMet-XQ2)を搭載し(図2), 上空のCO₂濃度, 風速(3成分), 気温, 湿度, 気圧等を測定した。測定方法は気象水文リスク情報分野の手法を参考にさせてもらった(佐々木他, 2020; 山路他, 2023)^{2,3}。

3. 観測方法

本研究では、巨椋池干拓地(農地), 京都大学芦生研究林(森林), 京都大学農学部グラウンド(内陸市街地), 大阪府住之江公園(臨海大都市域), 東舞鶴公園(海岸市街地), 京都大学潮岬風力実験所(海岸)の, 土地利用形態の異なる6つの地点で観測を行った。



図 1. ドローンの外観. パイプの上に取り付けられているのは風速計.



図 2. ドローンに搭載されたセンサー類およびロガー (Raspberry Pi), バッテリー. パイプの右側が CO₂ センサー.

観測は一日 3 回, 夜明け後, 午後 1 時頃, 日没前に行った. 高度は 150m を上限とし, 水平移動はせず, 鉛直方向の上昇と下降のみ行った.

4. 結果

本章では, 得られた観測結果の中からいくつかの特徴的な例を選んで紹介する.

図 3 は巨椋池干拓地で夜明け直後に行った観測結果である. まだ稲刈り前で, ドローンの離陸前は稲の呼吸で放出された非常に高い濃度の CO₂ が地表面付近に溜まっていたことが伺える. しかし, 離陸と同時に一気に濃度が下がり, その後ドローンが地上に戻ってきても離陸前の高い濃度は観測されなかった.

図 4 は同地の日没前にドローンの速度を変えて 2 往復させた結果である. 2 往復目に上昇および下降速度を上げた結果, 特に上昇時に他とは大きく異なる鉛直濃度プロファイルが観測された.

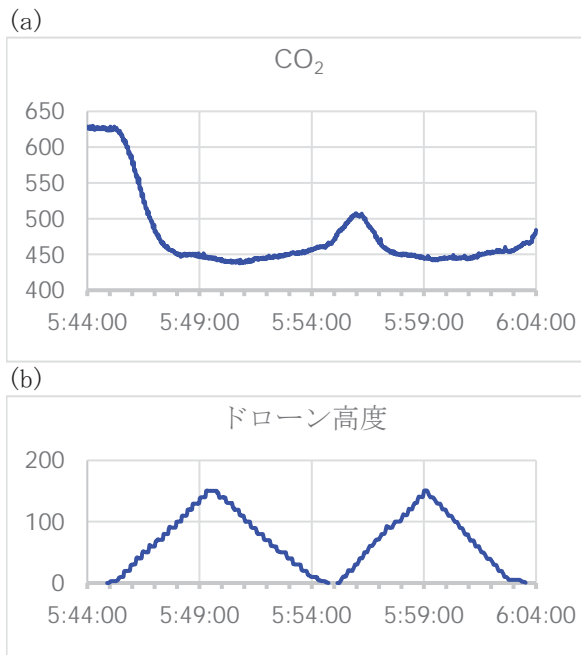


図 3. 巨椋池干拓地 (2022. 10. 1, 5:45) での観測による (a) CO₂ 濃度と (b) ドローン高度の時系列.

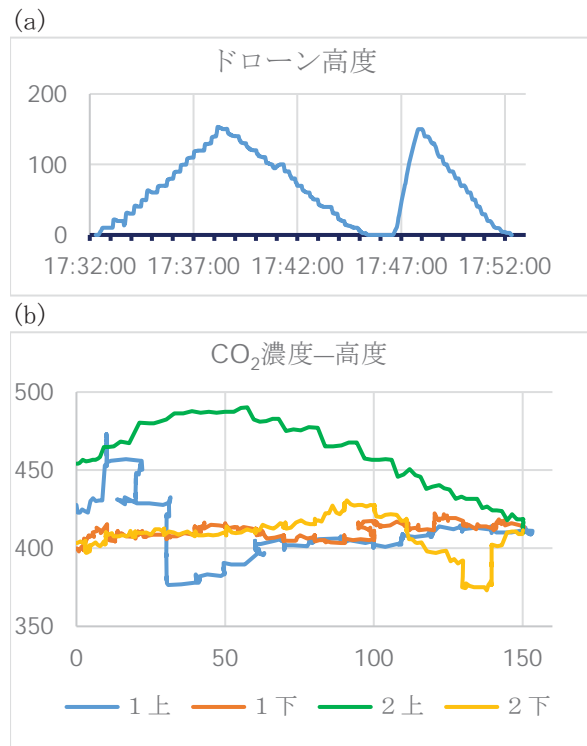


図 4. 巨椋池干拓地 (2022. 9. 30, 17:30) での観測による (a) ドローン高度の時系列と (b) 高度—CO₂ 濃度散布図. (b) の各線色はそれぞれ 1 往復目と 2 往復目の上昇・下降を示す.

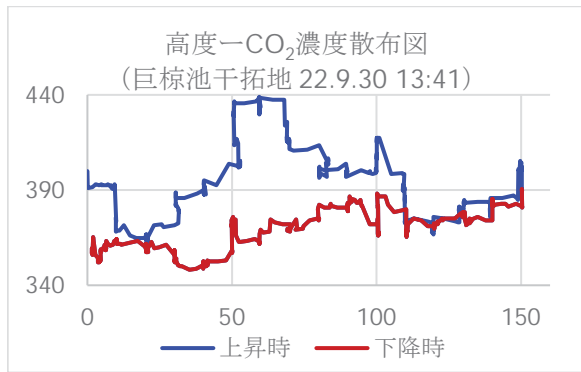


図 5. 巨椋池干拓地 (2022. 9. 30, 13:41) での観測による高度—CO₂ 濃度散布図. 青線は上昇時, 赤線は下降時のもの.

図 5 は同じく巨椋池干拓地で昼に行った観測の結果である. 上昇時に比べ下降時は濃度の変動が比較的なだらかである. この傾向は図 (b) の 1 往復目もそうであるが, 観測全般に見られた.

図 6 は住之江公園で長時間ホバリング (空中静止) を行いながら観測を行った結果である. ドローンを空中に静止させていても, CO₂ 濃度はどんどん変化していくことが分かる.

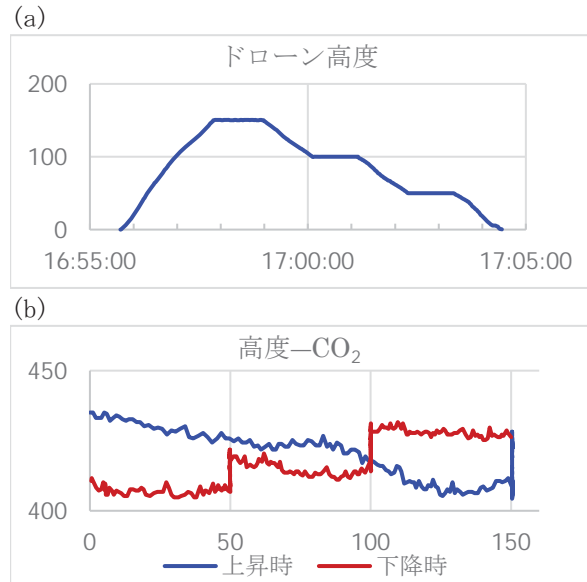


図 6. 住之江公園 (2022. 11. 7, 16:55) での観測による (a) ドローン高度の時系列と (b) 高度—CO₂ 濃度散布図. 青線は上昇時, 赤線は下降時のもの.

5. 考察

上記の観測結果および, CO₂ センサーの室内実験より, ドローンをを用いた上空の CO₂ 観測においては, 以下の点について考慮しなければならないことが分かった.

(1) 水平風の影響

図 4 (b) や図 5 に見られる通り, CO₂ 濃度の鉛直プロファイルは決して単調なものではなく, 突然濃度が上昇したり下降したりする. 昼間の観測の方が激しく変化の様である. 昼間は人間活動や光合成活動など, CO₂ の放出または吸収活動が活発になり, 高濃度あるいは低濃度の CO₂ を含む空気が水平風で流されてくるためだと考えられる. これらの影響を取り除いてより適切な鉛直濃度傾度を求めるためには, 複数回の観測やより高い高度までの観測が必要となる.

(2) ドローンのプロペラによるかき混ぜ効果

図 3 の観測では, 地表付近に溜まっていた高い CO₂ 濃度の空気はドローンのプロペラが起こす気流によって上空の空気と攪拌されたものと思われる. したがって, このような極端に高い鉛直濃度傾度の測定はドローンには不向きであると考えられる.

図 5 のように上昇時に比べて下降時に濃度の高度変化がなだらかになるのは, ドローンを支えるための強い風が下向きに吹き付けられて空気がかき混ぜられ, それに向かってドローンが下りていくためではないかと思われる. そのため, より正確な濃度の鉛直プロファイルを得るためには上昇時のデータのみを使うべきではないかと考える. ただし, 上昇時にもかき混ぜ効果はあるため, どの程度の範囲までその効果が及ぶのか, ドローン観測とタワーや気球を使った観測とを比較するなどの検証が必要となる.

また, 図 6 より, 長時間のホバリングはしない方が良いことが分かった.

(3) CO₂ センサーの特性

CO₂ センサーにも考慮すべき特性があることが分かった.

一つは濃度の変化に対するセンサーの応答時間である. 図 7 は, センサーを人のいない部屋と人のいる部屋との間を移動させたときの測定濃度の時間変化である. 二つの部屋の間は 100ppm を超える濃度差があるが, CO₂ センサーの測定値が 100ppm 分追いつくのに 2 分程度かかっている. 図 4 (b) の 2 往復目上昇時の鉛直プロファイルが異様な形になっているのも, 上昇スピードが速すぎて濃度の変化についていけなかったのではないかと考えられる. 一方で上昇スピードが遅すぎても前節のかき混ぜ効果で正しい濃度プロファイルが得られない可能性があり, 難しい問題であることが分かった.

もう一つは CO₂ センサー個体の持つバイアスである. 図 8 では 3 台の同じ機種 of センサーを同じ場所に置いて測定したところ, 個体間のバイアスの違いが認められた. この CO₂ センサーは 2 波長を用いた自己校正機能を持ち, 測定値のドリフトは抑えられている. 図 8 でもバイアスは安定しており, 補正機能の詳細を把

握しておく必要はあるが、十分補正可能だと考えている。

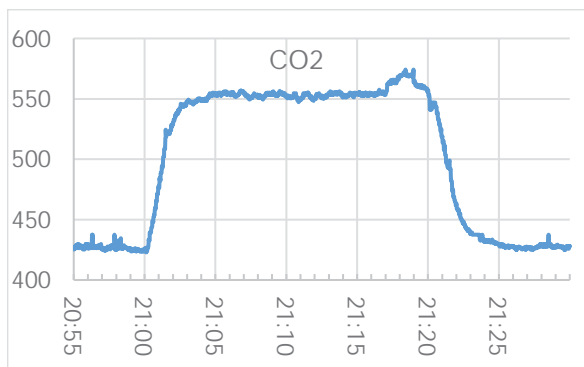


図 7. CO₂ 濃度の異なる部屋間を移動させた時のセンサーの応答.

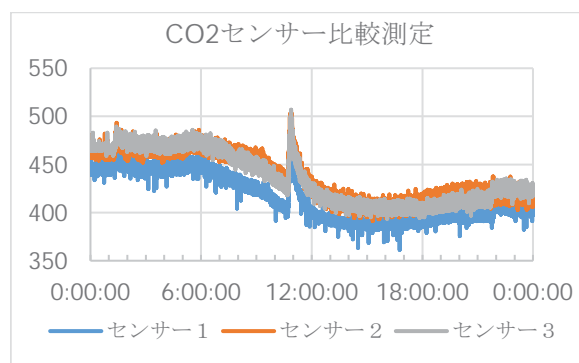


図 8. 3 台の CO₂ センサーを同じ部屋に設置して行った比較測定の結果.

6. まとめ

ドローンに CO₂ センサーを搭載して上空の濃度プロファイルを測定した結果、様々な課題が浮かび上がってきた。特に、ドローンのプロペラによるかき混ぜ効果と CO₂ センサーの応答速度を考慮に入れながら、どのくらいの速度でドローンを上昇させればよいか、さらに測定したデータからどのようにしてより正確な CO₂ 鉛直濃度傾度を導き出すかという課題を解決することが、ドローン観測の有用性を示すためには必要である。

今後はタワーや気球等を用いた観測との比較も行い、この問題の解決に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report, 2021.
- 2) 佐々木寛介, 志村智也, 井口正人, 井上実: ドローンによる上空の風観測手法の検討, 京都大学防災研究所年報, 第 63 号 B, pp. 282-290, 2020.
- 3) 山路昭彦, 呉映昕, 井上実, 佐々木寛介: ドローンを用いた上空の気象場および火山噴煙の観測, 水文・水資源学会 / 日本水文科学会 2023 年度研究発表会要旨集, PP-1-1-08, 2023.

ベトナム・メコンデルタの農村社会の持続可能性に対する人為的および自然的要因の影響

Impacts of anthropogenic and natural drivers on the sustainability of rural societies in the Vietnamese Mekong Delta

サメ カントウシュ 1、角 哲也 1、柳沢 雅之 2、ドアン バン ビン 3

Sameh KANTOUSH 1, Tetsuya SUMI 1, Masayuki YANAGISAWA 2
and Doan Van BINH 3

1京都大学 防災研究所

Kyoto University, DPRI, Professor

2京都大学 東南アジア研究所

Kyoto University, CSEAS, Associate Professor

3ベトナム語 - ドイツ大学

Vietnamese - German University, VGU, Lecturer

The Vietnamese Mekong Delta (VMD) has witnessed significant morphological alterations over decades, resulting in profound socio-economic, and environmental consequences. This study examines the VMD's spatial and temporal morphological changes, utilizing four bathymetric datasets from 1998 to 2020. The upper reaches of the Tien and Hau Rivers experienced significant incisions over the three periods, whereas their lower reaches witnessed a converse trend. The dynamic processes of erosion and deposition intensified notably between 2017 and 2020. Overall, the eroded riverbed has depleted the available sediment for deposition along the riverbanks, heightening the riverbank erosion susceptibility. The results of study provide crucial insights for refining sediment management strategies in the VMD.

Key Words : *Vietnamese Mekong Delta, bathymetric, erosion, deposition, riverbank, morphological changes*

1. Introduction

Riverbank erosion is a common serious issue in most river systems worldwide because of its adverse effects on socio-economic development, such as water quality reduction, instability of infrastructures, threat to the safety of residential areas, and adverse changes to ecosystems. Assessing river morphological changes has been a great challenge to scientists because these processes depend on natural, environmental processes, and anthropogenic impacts. The Mekong Delta is known as one of the world's most expansive deltas. However, the construction of upstream dams directly reducing the sediment supply in the delta, coupled with extensive sand mining activities, have significantly deepened riverbeds and accelerated bank erosion within the VMD. Furthermore, infrastructure developments along the river and channel banks amplify the erosion risks and impacts in the VMD.

Research has extensively documented morphological changes in the VMD across various specific regions and timescales. However, a comprehensive examination of long-term spatiotemporal variations in eroded sediment volumes considering both riverbed and riverbank erosions across the entire delta remains elusive due to the intricate interplay of the dynamic process. Previous research predominantly focused on the lower VMD and its adjoining coastal zones or particular sectors within the upper VMD. Although, a few research did investigate the entire delta, but encountered challenges, either in assessing recent morphological alterations or due to concerns regarding data reliability. Therefore, this study examines the entire VMD's spatial and temporal morphological changes, utilizing four bathymetric datasets from 1998 to 2020. Utilizing field data, GIS (Geographic Information System), and remote sensing, the present study aims to bridge this gap, providing a detailed long-term quantitative evaluation of the VMD's morphological changes.

Based on our findings, this research serves as a developed reference for strategic sediment management techniques tailored to tackle the unique challenges of the VMD. Furthermore, it suggests crucial measures such as launching community awareness campaigns and implementing policy reforms that align with and support the evolving ways of life of the local residents. Significantly, the importance of involving stakeholders actively and fostering deeper community participation stands out as a pivotal instrument, crucial for assisting local communities in navigating the multifaceted repercussions of riverbank erosion.

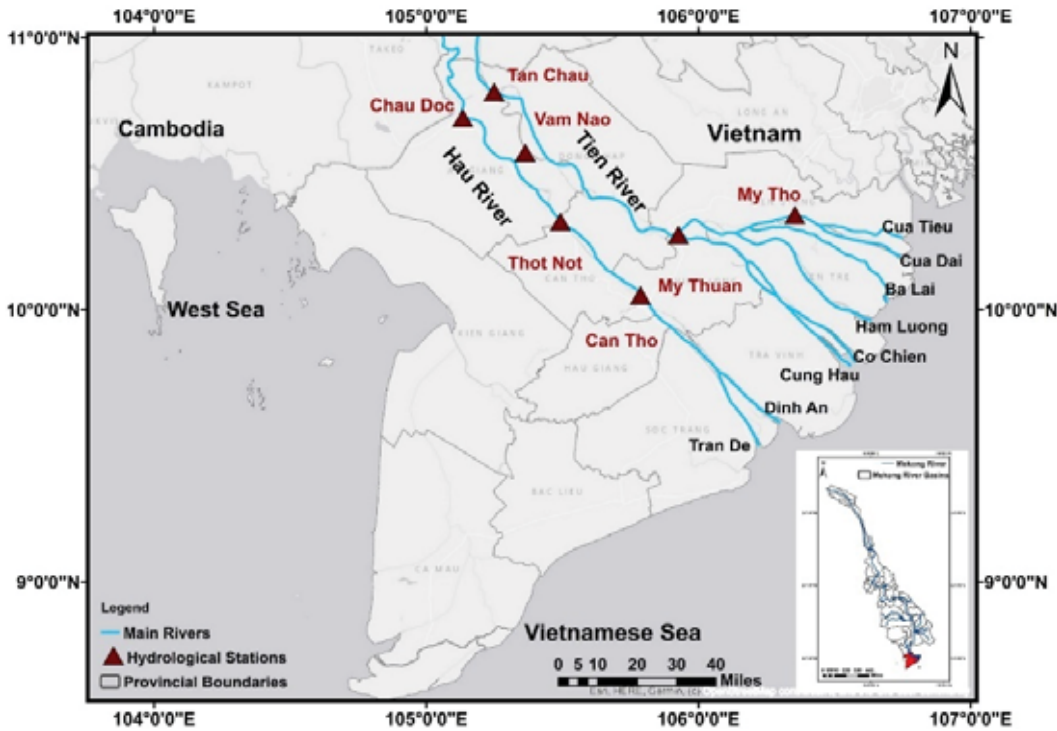


Figure 1. The map of the Vietnamese Mekong Delta.

2. Field measurements and bathymetric maps generating

In our quest to assess the ever-evolving morphological changes, we gathered the field bathymetric datasets for 1998, 2005, 2017, and 2020. The 1998 riverbed cross-section profiles were obtained from Thuyloi University and the Southern Institute of Water Resources Research, Vietnam. Correspondingly 2005 datasets were sourced from the Southern Institute of Water Resource Planning (SIWRP). Subsequently, 2017's bathymetric data collection conducted in August and September of that year, was facilitated by financial support from the Japan-ASEAN Science, Technology, and Innovation Platform (JASTIP) under Kyoto University's auspices, as highlighted by authors. For the data on 2020, a comprehensive collection was undertaken across both 2020 and 2021, produced similarly from SIWRP. Utilizing the Geomorphic Change Detection (GCD@6) tool within ArcGIS@10, we computed the disparities in riverbed elevations for the periods. To uphold the fidelity of our comparisons and accommodate potential instrumentation discrepancies across years, it's crucial to highlight a depth uncertainty threshold of ± 0.2 m for each 10 m depth. Thus, variations falling within this threshold remained unconsidered.

3. Data processing and assessment of riverbanks migration

To pinpoint areas undergoing bank erosion in our study, we began by leveraging the historical data from Landsat-5, 8, and 9 satellites, sourced from the U.S. Geological Survey (USGS). To ensure accurate subsequent analyses, we applied Atmospheric Correction (AC) using the open-source image processing tool (ACOLITE), converting the pixel values from raw Digital Numbers (DN) to Surface Reflectance (SR) values.

From these SR values across specific bands—including blue, green, red, Near InfraRed (NIR), Short-Wave InfraRed - 1 (SWIR-1), and Short-Wave InfraRed - 2 (SWIR-2)—we derived crucial input variables. Following this the original Landsat bands were strategically transformed to unveil three essential additional indices: the Automated Water Extraction Index (AWEI), the Modified Normalized Different Index (MNDWI), and the Normalized Different Vegetation Index (NDVI). This transformation culminated in a comprehensive nine-band composite image, enhancing the scope and detail of our subsequent analyses.

Subsequently, to distinguish between water and non-water classes, we harnessed the capabilities of the Deep Forest (DF) model, in a Python environment, generating binary maps. Furthermore, to ensure optimal performance, we fine-tuned the model's hyperparameters using the Grid Search Cross-Validation (GridSearchCV) from Scikit learn library, specifically for our 2021 dataset while ensuring its applicability across other years. Utilizing the Ground Truth Pixels (GTPs) from 2021 to delineate Regions of Interest (ROIs) for both water and non-water classes, subsequently extracting the pixel value datasets for the deployment of the DF model. Each dataset was partitioned randomly, allocating 60% for training and 40% for testing the DF model. In the concluding phase, binary maps categorizing water and non-water classes were generated for the study sites across various years. The extracted water boundaries were then transformed into vector format, i.e. polyline format, facilitating a more detailed analysis of temporal riverbank changes. For each interval, the

Linear Regression Rate (LRR) was estimated as the average annual change in bank migration (in meters), offering clear quantitative measures of riverbank erosion, deposition, or stability over time.

4. Morphological changes in the VMD River

The bathymetry maps generated for the 3 periods present a comprehensive overview of riverbed elevation across the entire VMD (Fig. 2). The elevations are largely irregular, with the upper reaches generally displaying greater depth and variability than the lower reaches. The analysis reveals the average rates of riverbed incision along the thalweg were as follows: -0.19 m/year in the period from 1998 to 2005, -0.11 m/year from 2005 to 2017, and -0.10 m/year between 2017 and 2020. Additionally, the net annual incision volume for the entire VMD region was estimated to be -119 Mm³/year, -69 Mm³/year, and -66 Mm³/year during these corresponding periods (Fig. 3).

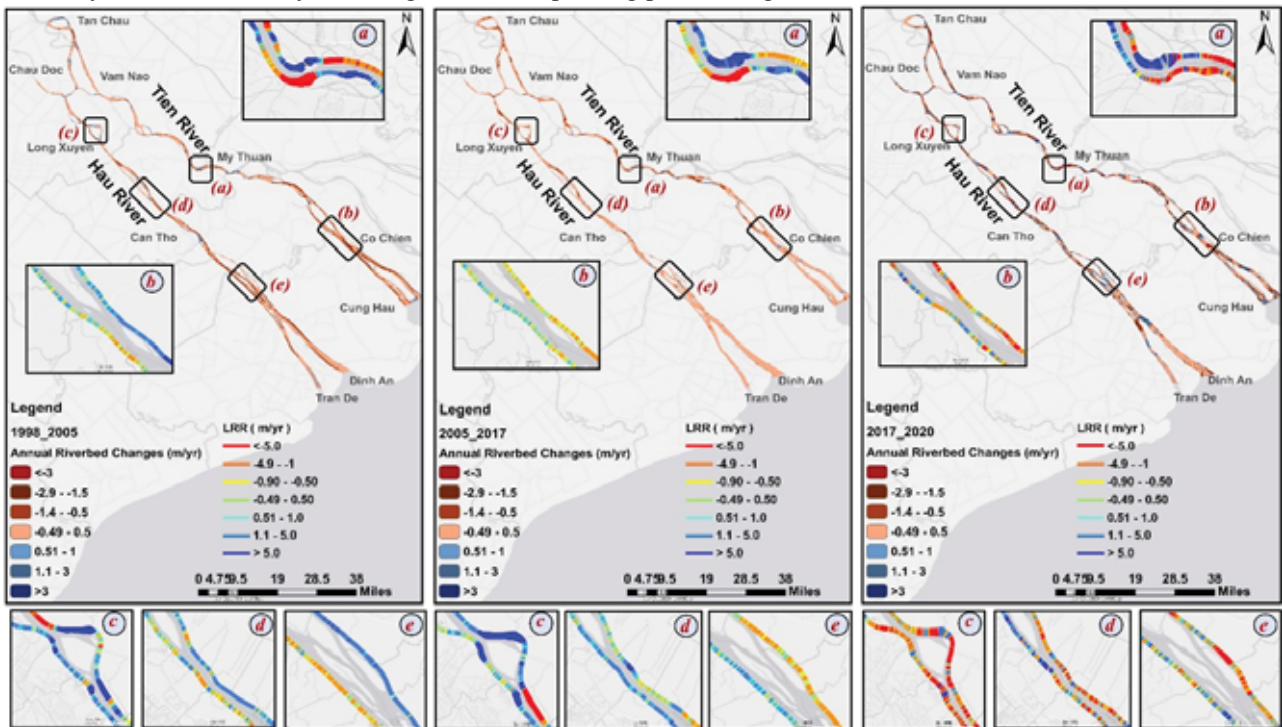


Figure 2. The annual riverbed changes in the 3 periods: 1998-2005, 2005-2017, and 2017-2020.

The results of the assessment over the 3-time intervals indicate a significant migration of riverbanks within the VMD. Over these intervals, certain regions have witnessed riverbank movements ranging from 5 m/year to a staggering -5 m/year. Notably, erosion overwhelmingly dominates the status of riverbanks throughout the VMD, with an increasing trend observed over the studied periods. In regions characterized by curvilinear sections, narrow passes, and deep erosion pockets, such as Sa Dec and downstream Tan Chau (Fig. 2), erosion rates have peaked at around -5 m/year. In stark contrast, straighter river segments present a different picture. Here, while erosion is subdued, deposition takes precedence. In certain stretches, deposition rates are increasing and have been recorded at 5 m/year, notably around 20 km downstream from Long Xuyen, 18 km downstream from Can Tho, and 8 km upstream from Tra Vinh.

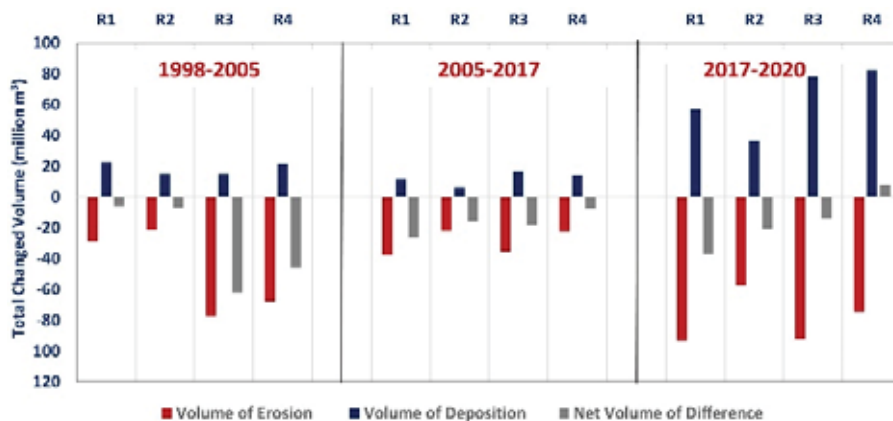


Figure 3. The sediment budget changes in the 3 periods: 1998-2005, 2005-2017, and 2017-2020.

The upper reaches of the Tien and Hau Rivers up to My Thuan and Can Tho experienced significant incisions between 1998 and 2020, with an increasing trend observed across the three periods (Fig. 2). This trend is primarily attributed to the reduction in sediment load resulting from upstream damming and excessive sand mining activities, as documented in previous studies. On the other hand, there was an increase in sediment deposition observed in the lower reaches of both the Tien and Hau Rivers, extending to their respective river mouths as illustrated in Figure 2. Notably, these lower reaches are characterized by their shallow depths, a feature influenced by sedimentation processes during both the flood and dry seasons. Sediments, which are transported downstream by the river flows and eventually discharged into the sea, tend to settle and accumulate at the river mouths. However, an interesting phenomenon comes into play: this deposited sediment is not static but is instead resuspended and carried back upstream by the action of waves and tides.



Figure 4. The riverbank erosion locations along the VMD River.

Overall, the Mekong Delta in Vietnam stands as a dynamic region, with morphological analyses across three distinct periods revealing significant shifts in riverbank and riverbed configurations. Notably, in Figure 2 and Figure 3, a pronounced intensification of both erosion and deposition processes between 2017 and 2020 is evident compared to the preceding periods. This heightened dynamic likely arises from the continued interplay of human interventions, underscoring the anthropogenic influence on the delta's morphological changes. Our 2022 field survey further illuminates this narrative. In several locations, including Vinh Long, upstream Tra Vinh, and the Ham Loung Branch (Fig. 4), we observed instances of bank erosion proximate to previously identified lowered and irregular riverbeds. Such observations solidify the interconnected and dynamic relationship between riverbed incision and riverbank erosion within the delta. Nonetheless, while these findings provide crucial insights, there remains a need for further research to quantify the precise contribution of bank erosion to sediment budgets and to discern its broader implications on the Mekong Delta's evolving landscape.

References

- 1) D. V. Binh, S. Kantoush, and T. Sumi, "Changes to long-term discharge and sediment loads in the Vietnamese Mekong Delta caused by upstream dams," *Geomorphology*, vol. 353, 2020, doi: 10.1016/j.geomorph.2019.107011.
- 2) D. V. Binh et al., "Hydrodynamics, sediment transport, and morphodynamics in the Vietnamese Mekong Delta: Field study and numerical modelling," *Geomorphology*, vol. 413, 2022, doi: 10.1016/j.geomorph.2022.108368.
- 3) Hackney, Christopher R., et al. "Sand Mining in the Mekong Delta Revisited-Current Scales of Local Sediment Deficits." *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, 2020, pp. 1–14.
- 4) Jordan, Christian, et al. "Sand Mining in the Mekong Delta Revisited-Current Scales of Local Sediment Deficits." *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, 2019, pp. 1–14.
- 5) Kondolf, G Mathias, et al. "Changing Sediment Budget of the Mekong: Cumulative Threats and Management Strategies for a Large River Basin." *Science of the Total Environment*, vol. 625, 2018, pp. 114–34.
- 6) Kondolf, George Mathias, et al. "Dams on the Mekong: Cumulative Sediment Starvation." *Water Resources Research*, vol. 50, no. 6, 2014, pp. 5158–69.
- 7) Kumm, Matti, and Olli Varis. "Sediment-Related Impacts Due to Upstream Reservoir Trapping, the Lower Mekong River." *Geomorphology*, vol. 85, no. 3–4, 2007, pp. 275–93.

斜面ハザード可視化ツールの構築と土砂災害レジリエンスの向上に向けた地域実践

Hillslope hazard mapping and trial implementation toward improvement of regional resilience for landslide disaster

松四雄騎¹, 畑山満則¹, 甲山 治², 渡邊哲弘³, 齋藤 仁⁴, 松崎浩之⁵

Yuki MATSUSHI¹, Michinori HATAYAMA¹, Osamu KOZAN²,
Tetsuhiro WATANABE³, Hitoshi SAITO⁴, Hiroyuki MATSUZAKI⁵

1京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

2京都大学 東南アジア地域研究研究所

Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

3京都大学 地球環境学堂

Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

4名古屋大学 環境学研究科

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

5東京大学 総合研究博物館 タンデム加速器分析室

Micro Analysis Laboratory, Tandem accelerator, The University of Tokyo

This study developed a hydro-geomorphological model for assessing landslide hazards. The model simulates formation of weathered bedrock zone and accumulation of creeping soil layer on hillslopes. Reinforcement of the soil by tree roots was formulated as a function of soil depth. Subsurface rainwater percolation and pressure increase at the soil bottom are also modeled and validated by hydrological observation. Coupling of those models enables us to evaluate spatiotemporal change in hillslope stability during a rainfall event. Predictability of the model was tested in a site where landslide disaster occurred recently. The deterministic process-based model was then used for simulating the cyclic soil dynamics, i.e., soil accumulation and removal on hillslopes, which enabled us to try an ensemble analysis for probabilistic evaluation of sediment yield from a mountainous watershed. Such outputs contribute risk communication between various stakeholders, which can enhance disaster resilience of local society.

Key Words : *Disaster mitigation, resilience of local society, soil and water sustainability, forest ecosystem, critical zone*

1. はじめに

近年、都市周辺の環境変化や人為的気候変動に伴う豪雨の増加および強大地震の発生により、日本の各地で、土砂災害が大規模・高頻度化している。今後さらに豪雨の頻度・強度の増大が予想される将来気候下あるいは巨大地震の発生が懸念される地域では、土砂災害リスクの顕在化が想定される。土砂災害への対応策として、砂防堰堤のような人工構造物を全ての場に完備することは不可能であり、また、その施工により、流域環境への影響が不可避免的に生じてしまう。さらに、経済的な観点から、ハード対策の推進だけで被害軽減を達成することは現実的でない。従って、突発的な豪雨や地震による土砂災害にすなやかに対応できる強靱な地域社会を形成するには、構造物建築を基本としたハード対策による防災に加え、情報に基づく警戒・避難を主としたソフト対策による減災の施策を拡充し、気候変動適応あるいは巨大地震への備えを強化して、土砂災害への地域的なレジリエンスの向上を図る必要がある。

本研究では、申請者らによって開発が進められてきた土砂災害の素因成立および誘因作用に関するモデルを応用し、革新的な斜面ハザードの評価・可視化システムを開発することを目的とする。このシステムでは地図アプリケーション上に、降水浸透あるいは地震動を誘因とする斜面崩壊と土石流のハザード（危険度）の空間分布を可視化する。システム内では任意の想定豪雨や地震を入力としたシミュレーションを行い、地

震動の強さあるいは降雨の量および強度と、斜面ハザード増大との関連性を定量的かつ視覚的に提示し、地域住民とのリスクコミュニケーションのためのツールとすることをめざす。これを山麓居住域での土砂災害リスクの認知・共有に活用することで、従来よりも格段に確度・精度の高い警戒・避難想定が可能となり、対象地域の土砂災害レジリエンスを飛躍的に向上させることができるものと期待される。研究期間中には、まず、近年の豪雨および地震での発災地を対象とした検討を行い、ハザード評価の精度と確度を検証する。そのうえで、国内の未災の場（リスクはあるものの未だ災害を経験していない場）における実践に向けて、発災の再現から予測へのステップアップおよび減災のための実用において、どのような課題が残されているかを抽出検討する。

2. 研究アプローチと成果

近年に豪雨や地震により発災した場と、その近隣で被害発生が少なかった場を含む領域を、対象として設定する。具体的には、2010年代に豪雨や地震によって斜面災害の発生した福岡・広島・東京・栃木・宮城・北海道などを、フィージビリティ確認のための調査地域に選定し、データ取得とモデル構築を行った。それらの地域の山地斜面において、まず、崩壊予備物質となる風化土層あるいは降下火砕物（テフラ）累層の空間分布を、宇宙線由来の放射性同位体の分析に基づく風化とソイルクリーブのモデリングあるいはテフラのアイソバックマップの作成の解析によって細密デジタル地形モデル上で推定し、斜面災害の素因を定量的に評価した。斜面構成物の風化特性や水理・力学的性質については、踏査と土質試験によって定量的に調べ、モデルパラメータとして評価のフレームワーク（図1）に組み込んだ。

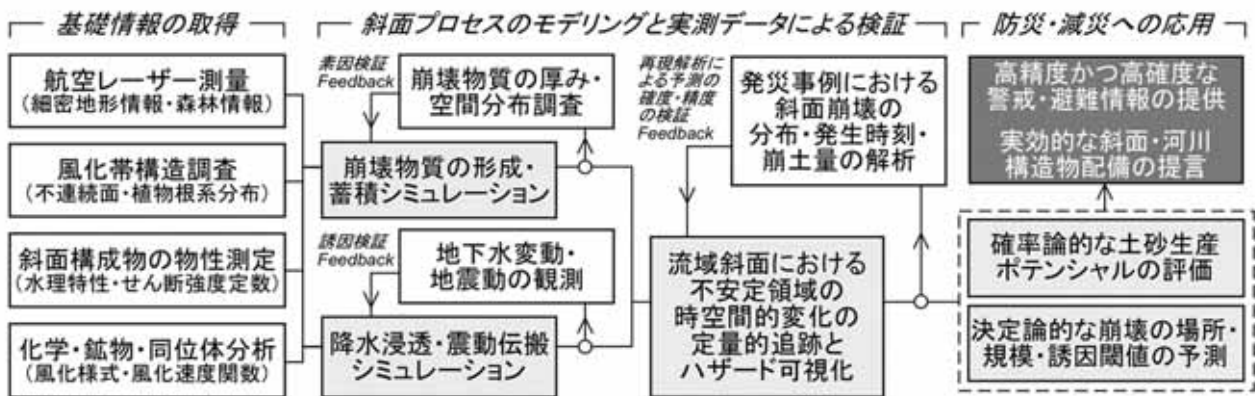


図1. 斜面ハザード評価のモデルフレームワーク

この報告では、豪雨時に発生する表層崩壊に焦点を絞って述べる。降水浸透に伴う土層中の間隙水圧変動をモニタリングしたのち、数値計算によって観測データを再現し、水文パラメータを決定した。水文モデルは、斜面浅部の土層と風化岩からなる風化帯構造を考慮し、透水性が深度方向に指数関数的に減衰する基盤岩中での定常側方流動によって涵養される土層中の水頭を計算する（図2）。そのうえで、土層の厚みの空間分布を与えたデジタル地形モデル上で、豪雨時の鉛直浸透に伴う短期的な間隙水圧変動を、時系列的に算出した（図3）。

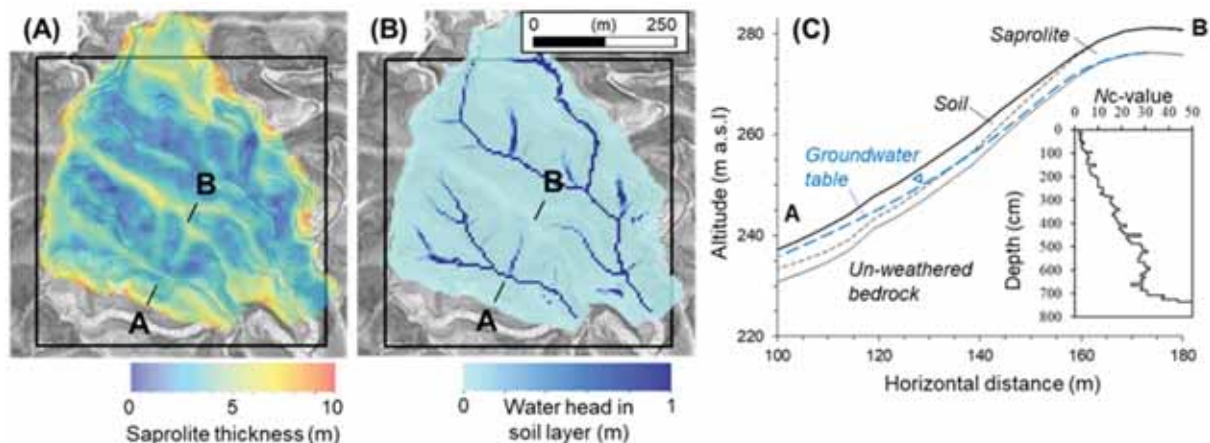


図2. 風化帯の厚み (A) と岩盤からの水涵養による土層中での水頭 (B) の計算例と縦断図 (C)。

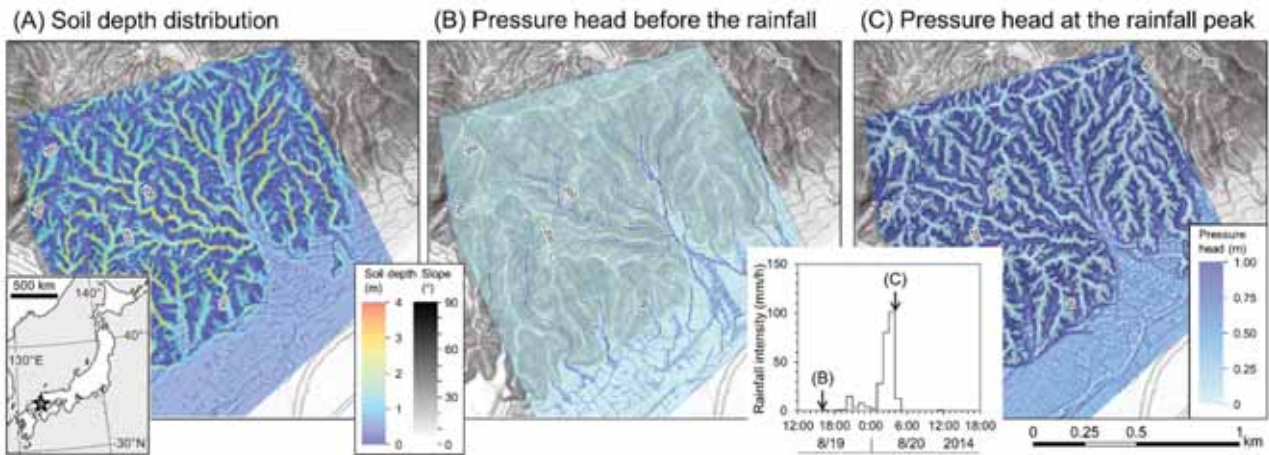


図 3. 評価対象流域の一つにおける土層の厚み (A) と間隙水圧変動 (B, C) の計算例。

水文誘因モデルを地形・地質素因モデルにカップリングさせることで、降雨の進行に伴う斜面の不安定領域の拡がりを可視化した (図 4)。このとき、森林の根系が、土層補強に及ぼす影響を定量的に考慮した。モデルの出力を実際の豪雨による発災状況に照らして、精度と確度を検証したところ、降雨ピーク時に斜面安定性が基準値を下回る不安定領域の空間分布は、実際の土砂移動痕跡の源頭部 (すなわち表層崩壊発生場) のパターンをおおむね再現した (図 4)。

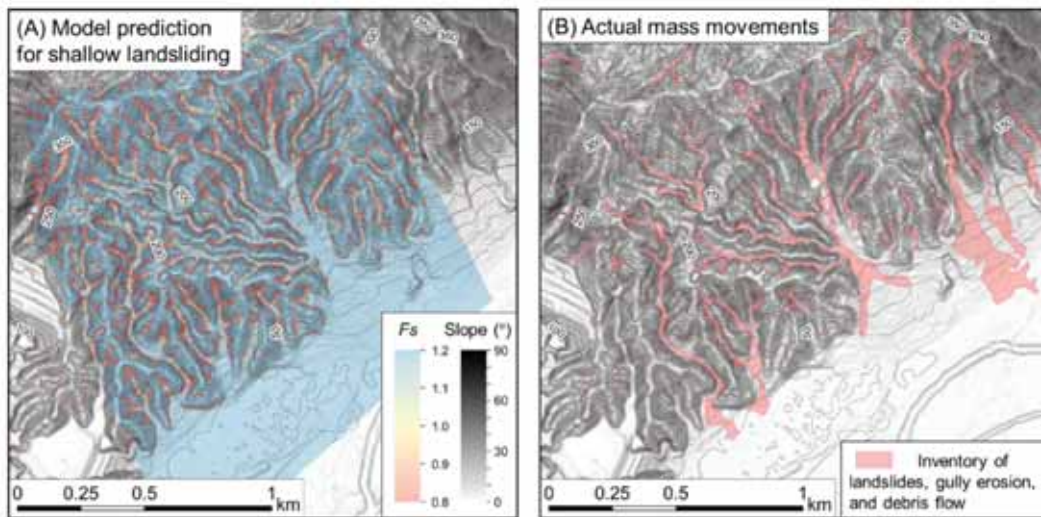


図 4. モデルによる表層崩壊の予測 (A) と実際の土砂移動痕跡 (B) の比較例。

構築したシステムを用いて、この地域で過去に繰り返し表層崩壊による災害を引き起こした再現周期 100 年の降雨で、任意の波形パターンを持つ想定豪雨を入力としたシミュレーションを行い、降雨の量および強度と、斜面ハザード増大との関連性を定量的かつ確率論的に評価する試みにも取り組んだ。ここでは、ランダムに襲来する 100 年再現周期の降雨による突発的な表層崩壊 (土層の除去) と、その間の緩慢な岩盤風化とソイルクリープ (土層回復) を繰り返すというサイクルシミュレーションを行うことで、流域からの土砂生産量の確率論的推定を行った。計算期間は約 500 年とし、その間に 6 回発生するトリガー降雨のタイミングは乱数で定め、モデルへの入力とする降雨波形には同地域における過去の降雨記録から経験的に推定した尖度と歪度で揺らぎを与えることで任意性を確保した。局所安全率に基づく不安定領域が一定の拡大幅をもつ場合に崩れが生じるとする判定則を適用し、降雨イベント毎の流域単位での土砂生産量は、崩壊範囲における土層厚の総和として算定した。図 5 に計算結果の一例を示す。最初の降雨イベントで一部の斜面が表層崩壊を生じて免疫を獲得すると、後続の降雨では、前のイベントで崩れなかった斜面の新規崩壊や既存崩壊跡地の周縁部での拡大崩壊が生じる様子が観察され、同じ谷頭凹地での崩壊の再発生もみられた (図 5A)。解析対象とした 2.5 km² の流域内での崩壊面積率は 1~5% と現実的であり、100 年再現周期のひと雨当たりの土砂生産量は降雨のパターン (図 5B) に依存して $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ から $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3$ まで変化した (図 5C)。

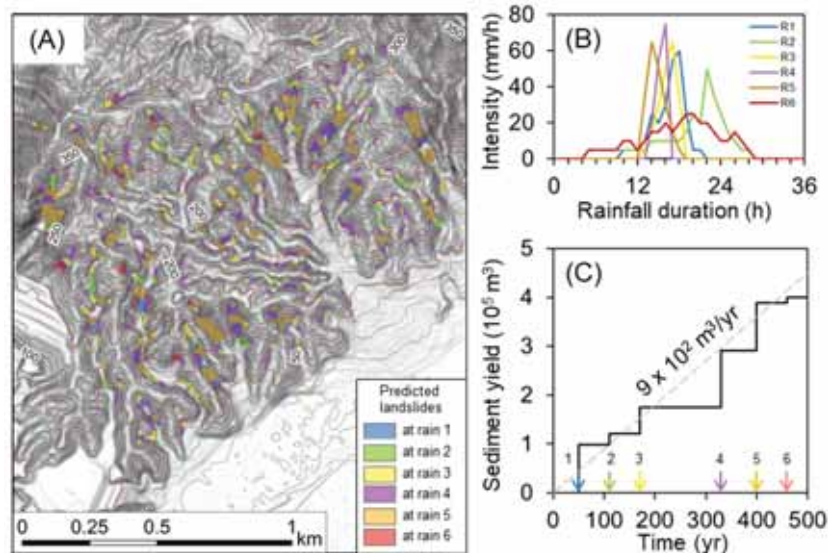


図5. 土層の発達と除去のサイクルシミュレーションによる表層崩壊の発生と土砂生産の予測例.

土層の発達と除去のサイクルシミュレーションから、たとえ同じ再現周期の降雨であっても、土砂生産量は、降雨のタイミングと波形に強く依存することがわかった。崩壊免疫を反映して表層崩壊の発生場も変遷する。すなわち山地流域における土砂生産システムはサイクリックな水文地形過程反映して揺らいでおり、降雨入力に対して非線形的に振舞う。よって、流域からの土砂生産予測においては、確率論的の評価が意味を成すことになる。そこで、複数シナリオを付与したアンサンブル解析を試みることにした。図5において、初期条件の影響が残り得る2回目までのイベントはリセッターとして位置付け、残りの4イベントの直前のタイミングでの土層の空間分布を確率的素因条件とする。そこに確率的誘因作用として100年再現周期の雨を多様な波形で与えると、土砂生産量はどのような分布となるであろうか？素因4パターンと誘因9パターンの組み合わせ36通りでの土砂生産量の確率論的評価を行った。図6にその結果を示す。得られたヒストグラムに、確率密度関数として適当な最小値分布を当てはめると、土砂生産量の超過確率曲線を得ることができる。これは豪雨による流域土砂生産に対する最初の、プロセスベースモデルによる決定論的な計算をベースにした確率論的な予測といえる。

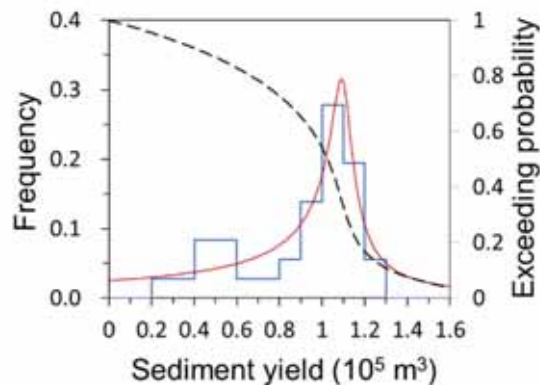


図6. 100年再現周期の降雨に対する流域からの土砂生産量の確率論的評価例.

3. まとめ

新しい斜面ハザード評価法の構築と社会実装に向けて、素因と誘因の両面から水文地形学的なモデリングを進めている。決定論的モデルに基づく表層崩壊と土層回復のサイクルシミュレーションにより、時空間的にゆらぎのある素因条件が設定できるため、降雨を入力としたモンテカルロシミュレーションにより、任意再現周期の雨に伴う土砂生産量の超過確率曲線を得ることができ、斜面ハザードの確率論的評価が可能となる。開発したモデルは、任意流域における土砂災害の予測・想定や、土砂量算定に基づく効果的な人工構造物の配備、地域社会とのリスクコミュニケーションによるソフトな砂防事業の展開に応用できる。また人為的気候変動に関連して、過去の発災事例のイベントアトリビューションや土砂動態変容の将来予測のためのツールとして活用が期待される。

インドネシアの熱帯泥炭地における洪水・火災リスクに関する研究

Flood and Fire Risk in Tropical Peatland in Indonesia

山本 エヴァ 1、佐山 敬洋 2、山本 浩大 1、甲山 治 3

Eva YAMAMOTO 1, Takahiro SAYAMA 2, Kodai YAMAMOTO 1, and
Osamu KOZAN 3

1 京都大学 防災研究所 特定助教

Kyoto University, DPRI, Programme Specific Assistant Professor

2 京都大学 防災研究所 教授

Kyoto University, DPRI, Professor

3 京都大学 東南アジア研究所 教授

Kyoto University, CSEAS, Professor

Tropical peatlands in Indonesia, predominantly situated in lowland areas of major river basins, are facing escalating risks of consecutive flooding and fire disasters in the recent decades. However, compounding disasters, where floods and fires happened at the same place in the same year, rarely happened – about once in 10 to 20 years. With the robust projection of increasing consecutive dry days (CDD) and 15-day rainfall the compounding disasters is likely to be intensified in the future. To prove this hypothesis, we obtain future floods extent using the Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model and future fire risk Keetch-Byram Drought Index (KBDI) using NEX-GDDP-CMIP6 SSP 370 datasets. Our preliminary results show that both duration and frequency of floods and fires risks will increase in the future. The floods and fires as compounding disasters will be intensified to 5-6 times in a decade particularly at the lowland area along the big rivers.

Key Words : tropical peatlands, floods, fires, compounding disasters, climate change

1. Introduction

The tropical peatlands in Indonesia covers about 11% of its lowland area. Most of these peatlands were drained and converted to croplands, mainly for oil palm plantations and acacia woods. Due to its high carbon content, the drained peat is more prone to fire. On the other hand, as part of big river basins in Sumatra and Kalimantan island, the tropical peatlands are flooded from time to time. The interannual variability such as ENSO and IOD increase the magnitude of floods or fires once or twice in a decade. However, our observation using satellite imageries and fire data from the Ministry of Forestry of Indonesia shows that floods and fires may occur at the same place in the same year (Figure 1) which may happen once in 10 or 20 years.

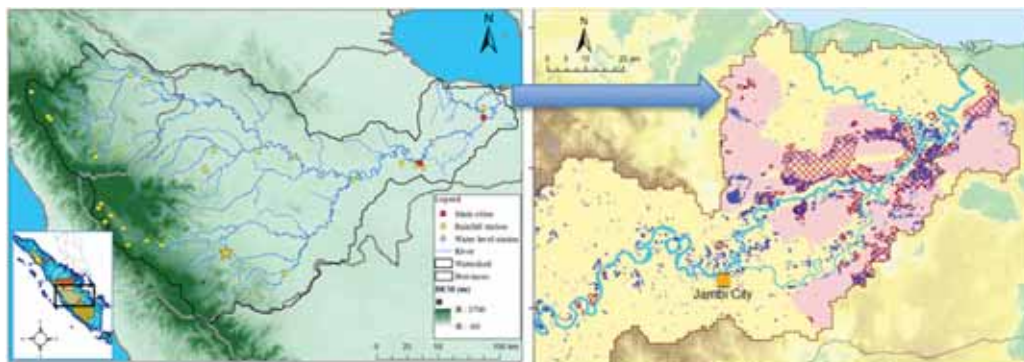


Figure 1. Batanghari river basin (left); and flooded area (blue) and peat fire area (red hatch) at the downstream of Batanghari River basin during the rainy and dry seasons in 2015, respectively. The pink background is peat-lands (right).

Our previous results using Non-Hydrostatic Regional Climate Model (NHRCM) RCP 8.5 and the Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) Model on the Batanghari River Basin (42,960 km²) showed that the flood inundation volume

corresponding to a 20-year return period will increase by 3.3 times. Conversely, our results using NEX-GDDP-CMIP5 MRI-CGCM RCP 8.5 and Keetch-Byram Drought Index (KBDI) (Keetch and Byram, 1968) in Indonesian Tropical Peatlands showed that potentially high-risk fire area will increase by 3.2 times with 4 times higher frequency. The projected increase in both the frequency and magnitude of these extreme events calls for a rigorous quantification of uncertainties surrounding future flood and fire occurrences as compounding disasters. To address this concern comprehensively, our study adopts an integrated approach, combining the advanced Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model with NEX-GDDP-CMIP6 datasets. By considering the broader hydrological system, we incorporate two distinct model domains—the river basin scale and the peatland scale—to holistically account for the complex interactions between upstream catchments and flood and fire events in the peatland areas. Additionally, the study utilizes the soil moisture obtained from peatland-scale hydrological simulations to assess the potential occurrence of future fire outbreaks.

In this report, we present the preliminary results of rainfall analysis of NEX-GDDP-CMIP6 datasets and the river basin scale simulations as the basis to understand the intensification of floods and fires disasters as compounding disasters in the tropical peatlands.

2. Methodology

In this study, we used the RRI model to obtain flood extent in 5 big river basins in Sumatra Island, i.e. Musi River, Batanghari River, Kampar River, Rokan River and Indragiri River. We utilized 17 out of 35 models of NEX-GDDP-CMIP6 rainfall data of historical (1980–2014) and SSP 370 (2070–2100) scenarios. Using the same dataset, we separately calculated the reference potential evapotranspiration (PET) using Penman-Monteith and used the PET as input data in RRI model. We utilized model setting which was adopted by Yamamoto et al. (2022).

To obtain the future fire risks, we used KBDI. The index was proven to be accurate enough to predict big fire events in the region. As threshold value, we used KBDI value of 175 to define fire risk area (indented as extreme in Taufik et al., 2015).

3. Results and Discussions

Our preliminary results show that the annual precipitation will increase in northern part of equator and decrease in the southern part of equator (Figure 2). The changes in annual precipitation vary among model and only a few areas show robust projection of change. However, more robust prediction can be seen in the increase of consecutive dry days (CDD) and maximum 15-day rainfall (RX15d). In most of the area of the island, at least 14 out of 17 models agree that CDD and RX15d will increase. The change monthly rainfall show that the seasonality will intensify in the region. In the southern hemisphere, the dry season is expected to last until October-November while in the northern hemisphere the early dry season (usually occur in February) will last until March-April. The monthly rainfall will increase in January in the southern hemisphere while in the northern hemisphere, the wet season will set earlier and intensify with high peak in November. These results are in line with findings from Kang et al. (2017) using MIT Regional Climate Model (MRCM).

The number high fire risk days (fire duration) will increase by 12-54 days in the future with good agreement among the models. The southern part such as peatlands around South Sumatra and Jambi is expected to have higher increase in fire duration compare to peatlands around Riau. The number of high fire risks days in the south part of Sumatra may increase from 2 months to 4 months while in the northern part it may increase to 1 to 1.5 months. The frequency of potential fire events (fire frequency) in 10 years will also increase in the future. The fire frequency will increase from 1-2 times to 7-8 times in a decade. This result is in line with research by Cox et al. (2008) using HadCM3LC global model to identify drought in Amazon. The change in the number of events, however, is highest in the Riau and Jambi peatlands and not in the south Sumatra.

The hydrological simulation show that floods happen along the downstream area of main big rivers of Indragiri, Batanghari and Musi rivers, while in Kampar and Rokan rivers, floods happen in the middle area of the basin. The flood duration (water height > 30 cm above ground) will increase by 25 days from the present condition and the floods frequency will increase by 3 events in a decade from the present condition.

Based on the floods and fires extent, we obtained the number of compounding events where floods and fires occur at the same place in the same year. The compounding disasters will increase from 1-3 events in present condition to 5-6 events in the future. These results show that the compounding disasters will intensify in the future.

4. Conclusions

This study utilizes RRI model, KBDI and NEX-GDDP-CMIP6 to understand the complex interaction between climate change, floods and fires in the tropical peatlands of Indonesia. Most climate models agree that CDD and RX15d will increase in the future resulting increasing in duration and frequency of floods and fires. Our preliminary results show that compounding disasters in the tropical peatlands of Sumatra Island in Indonesia will intensify in the future.

Our overarching goal is to identify high-risk areas within Indonesian tropical peatlands, contributing essential knowledge on regions most susceptible to flooding and fires. Thoroughly examining simulation results based on different climate models helps us comprehensively assess inherent future extreme events, leading to a better understanding of the complex interactions between climate change, floods, and fires in these ecologically sensitive ecosystems.

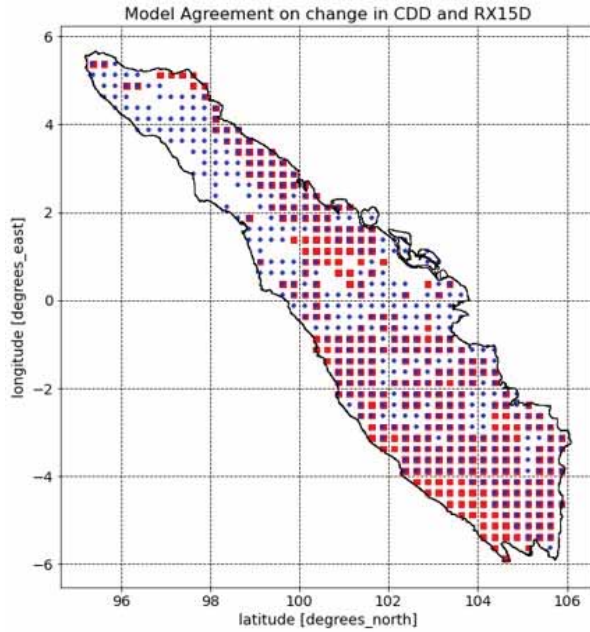


Figure 2 Consecutive dry days (CDD) will longer at red places and 15-day rainfall will be increased at blue places.

References

- 1) Cox, P., Harris, P., Huntingford, C. et al. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature* 453, 212–215 (2008). <https://doi.org/10.1038/nature06960>
- 2) Kang, S., Im, E-S, Eltahir, E.A.B. Future climate change enhances rainfall seasonality in a regional model of western Maritime Continent, *Clim Dyn* 52, 747–764 (2019)
- 3) J.J. Keetch, G. Byram, A Drought Index For Forest Fire control. *Res. Paper SE-38*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC (1968)
- 4) Yamamoto, E., Sayama, T., Sugawara, Y., Yamamoto, K. Effects of Measured Soil Properties in Hydrological Simulation in a Humid Tropical River Basin, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 78, No. 2, I_757-I_762 (2022)

流路変動による氾濫原の地形変動特性を考慮した 河川・氾濫原整備方法の検討

Suitable river regulation work considering the characteristics of floodplain topographic changes due to channel deformations

竹林 洋史¹, 藤田 正治², メグ ビシュワカルマ², ウメシュ シン³

Hiroshi TAKEBAYASHI¹, Masaharu FUJITA², Meg B. BISHWAKARMA²
and Umesh SINGH³

1京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

2京都大学 東南アジア地域研究所

Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

3ハイドロラボ

Hydro Lab

The characteristics of floodplain geometry deformation due to channel deformation were discussed using two-dimensional bed deformation analysis, and the optimal river and floodplain regulation works that ensure sustainable survival foundations for people on the floodplain are discussed. The results show the method to create places on the floodplain that are largely unaffected by channel deformations, and to develop cities in areas with low risk of flooding.

Key Words : Floodplain, Channel deformation, Terai Landscape, Numerical simulation

1. はじめに

ネパール南部に位置するTerai Landscapeと呼ばれる平野部は、生物多様性と経済的価値の両面で重要な地域である。Teraiには約164の河川が流れている。これらの河川の多くは、ヒマラヤの麓の丘陵地帯であるChure地域に源を発している。Chure地域は地殻変動が活発な地域に位置しているため、地盤が脆弱である。また、降雨量が多いことなどによって、斜面崩壊や土石流などによる土砂生産が非常に活発である。その結果、地盤勾配が緩やかであるとともに横断方向に開けているTeraiでは、流路変動、河岸浸食、土砂の氾濫・堆積などによって河川および氾濫原の地形変化が発生し、インフラや居住地に大きな影響を及ぼしている。これらの影響を軽減するためにこれまで行われてきた河川整備は、流路形状の変動特性に関する理解が不足しているため、あまり効果的ではなかった。そこで本研究では、流路変動による氾濫原の地形変動特性を数値シミュレーションで明らかにし、氾濫原での人々の持続可能な生活基盤を確保する河川・氾濫原整備方法について検討する。

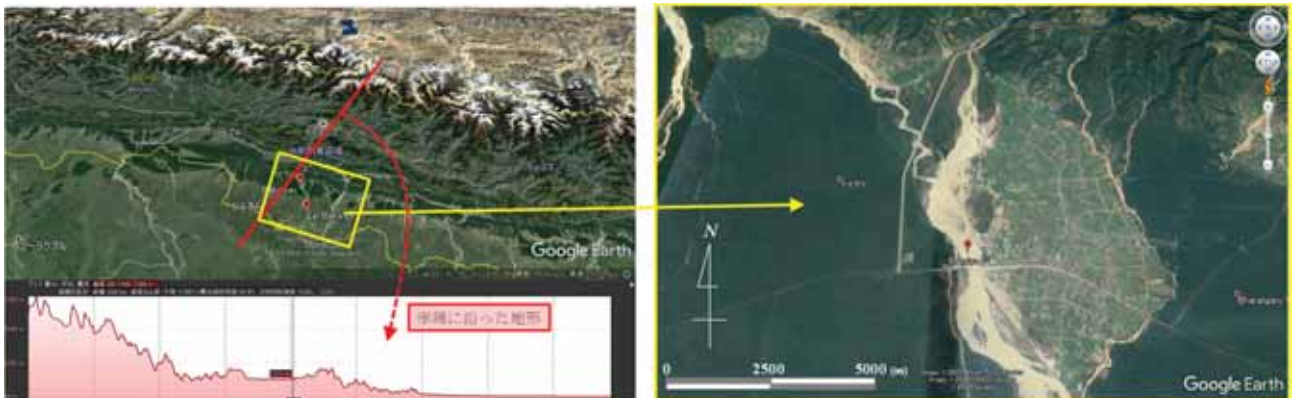
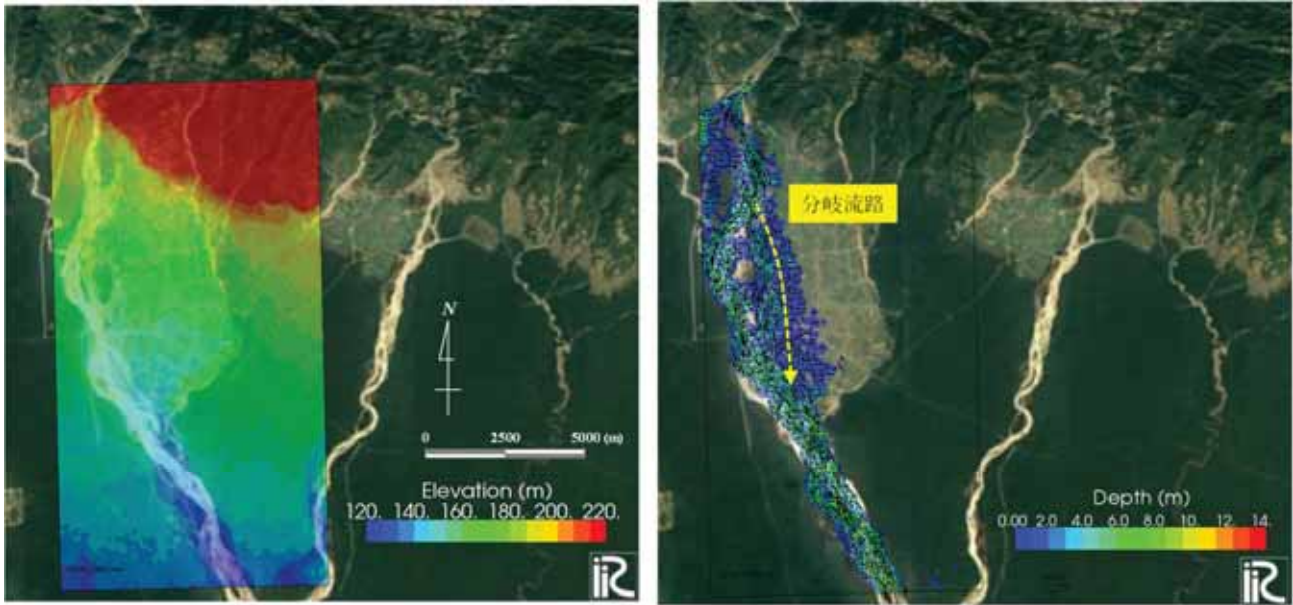


図1 研究対象地点（背景画像及び断面図：Google Earth）



格子サイズ：流下方向約50m，横断方向約20m

(a) 解析範囲と地盤高

(b) 水深と流速ベクトルの平面分布 (Case 3)

図2 解析条件と Case3 の解析結果 (背景画像：Google Earth)

2. 対象地点の解析方法の概要

a) 対象地点の概要

図1に示すように、対象地点はカトマンズから南や約50kmの場所に形成された沖積地である。図1(b)に示すように、対象地点は、河床勾配が急で氾濫原幅が狭い山間地から河床勾配が緩やかで氾濫原幅が広がっている場所である。流路・河床形態は網状流路であり、河川東側に農耕地と宅地が広がっている。

b) 基礎方程式

研究対象地点の流路変動特性を解析するため、平面二次元の河床変動シミュレーションモデルを開発した。研究対象地点は河床勾配及び氾濫原幅の急変地点であり、土砂の堆積に伴う流路変動が活発な地点である。また、浸透流が比較的多く、瀬切れも発生する。そのため、表面流と浸透流の両方の流れを同時に解析し、流路の時空間的な変動特性を再現できるような数値シミュレーションモデルとした。数値シミュレーションに用いた基礎方程式は、河床材料を一様粒径として扱い、掃流砂のみを対象とした一般座標系による平面二次元河床変動解析モデル (Takebayashi, 2017) によるものを用いる。

c) 解析条件

図2(a)に解析範囲と地盤高を示す。地盤高はSRTMによるDEMを用いた。平均メッシュ幅は流下方向に50m、横断方向に20mである。河床材料の平均粒径は5mmとしている。流量は1500 m³/s (Case 1) , 2500 m³/s (Case 2) , 5000 m³/s (Case 3) の3種類を定常的に与えた。

3. 解析結果

図2(b)にCase3の水深と流速ベクトルの平面分布を示す。図2(b)より、解析領域内の西側に位置する本川内では、水深が10mを超える場所も確認できる。流速は、山間地から平野部に出たところで速くなっており、場所によっては約12m/sとなっている。また、黄色の破線の矢印で示すように、流路が左岸側から分岐して本川東側の農耕地と宅地内に新規に流路が形成されていることがわかる。分岐流路は約8km下流で本川の合流している。以上のように、数値シミュレーションでは、河道内の土砂の堆積や河岸浸食によって流路の分岐・合流が発生する過程が再現され、対象地点は流路形状の変動が非常に活発であることが示された。出水によって流路の分岐・合流が頻繁に発生する場合、流路の変動過程の不確実性が高くなる。近い将来の出水によって、図3に示した分岐流路は新しい流路として発達する可能性がある。そのため、例えば、分岐流路周辺での土地利用をコントロールするとともに、出水による分岐流路形成前に小規模の分岐流路を掘削しておく想定した場所に出水時に分岐流路が形成される。これにより、流路変動過程の不確実性を抑制するとともに流路変動の影響をほとんど受けない場を氾濫原に作り出し、氾濫リスクの少ない場所に都市を形成できるような河川整備を行うことが可能となる。

4. 参考文献

- 1) Takebayashi, H. (2017): Modelling braided channels under unsteady flow and the effect of spatiotemporal change of vegetation on bed and channel geometry, GBR, 8, 671-702.

インドネシア熱帯泥炭地の火災防災に向けた大気観測研究

Atmospheric observation study for fire prevention in Indonesian tropical peatlands

小川 まり子¹, 甲山 治¹, 山本 エバ ミア シスカ²,
山本 浩大², 佐山 敬洋²

Mariko OGAWA¹, Osamu KOZAN¹, Eva Mia Siska YAMAMOTO², Kodai
YAMAMOTO², and Takahiro SAYAMA²

¹京都大学 東南アジア地域研究研究所

Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

²京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Atmospheric and hydrometeorological observations were conducted from July to late October 2023 at 10 private houses in Riau Province, Sumatra, Indonesia, where tropical peatlands are widespread. Based on fire information obtained from local news reports, data from the nearest atmospheric stations were analyzed. No significant differences in PM2.5 values were qualitatively observed between the days of the fire and other days.

The relationship between the aspect of air pollution and hydrological information was analyzed at one of the sites where rain gauges were installed: during the 15-day period of continuous low rainfall days of less than 5 mm/day, PM2.5 values above 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ were observed for at least 6 hours. The 7-day moving average of the daily maximum temperature was measured about 40°C at the low rainfall periods, the highest value recorded during the entire observation period.

Key Words : tropical peatlands, fire, atmospheric observation, hydrometeorological observation, air pollution

1. はじめに

広大な未利用可耕地として世界の注目を集めている熱帯泥炭湿地の利用において、最大の課題は火災予防である。火災が発生すると、泥炭地からはヘイズ（煙霧）が発生し、地域住民の健康被害や経済損失が深刻な問題となっている。泥炭は不完全燃焼を起こし、粒子状物質のほか温室効果ガスの排出が懸念されている。

火災リスクは雨や大気気象状態に左右されやすい。Hayasaka¹⁾によると、2003年から2022年までの20年間の火災（ホットスポット）データを用いて、リアウ州ドゥマイ市のプランテーションエリアにおける火災気象状況を分析したところ、20件の火災事例（各年の最大のホットスポット）の分析結果から、強風 (>19km/h)、高温 (>33°C)、低い相対湿度 (<50%) という火災気象条件が示された。

一方、リアウ州の水文気象観測所データの分析から、熱帯泥炭地域の植生と乾燥度合いの定性的な特徴がわかってきている。最もわかりやすいのは、低木エリアなどは無降水期間の土壌水分量の低下が大きく、森林エリアではそれが小さいという点である²⁾。しかしながら、空間代表性の乏しい熱帯泥炭土壌では、水文情報の地域ごとの変動特性を、現地調査をベースに整理しても火災リスクと関連づけることが、まだ難しい。

火災リスク指標の算出は地下水水位、降雨、気温、土壌物性などを用いて開発が進められてきたが³⁾、衛星画像以外の泥炭火災データを用いた水文気象状況の分析はあまりなされてこなかった。泥炭火災は地中でくすぶり続けるため、火災の範囲を特定することが困難なためである⁴⁾。

熱帯泥炭地における水文気象情報の地域ごとの変動特性が、インドネシア政府が設置した観測所のデータや現地調査²⁾、独自に設置した雨量計⁵⁾ならびに気象レーダーの降雨観測⁶⁾からわかってきた。気象レーダーの観測では、緻密な時空間解像度（100m四方、5~10分ごと）により降雨分布の地域的な特徴がわかってきた。時間帯別の解析から、深夜すぎに強雨がスマトラ東部の沿岸部で見られた。このような降雨日周期はインドネシアの海洋大陸の降水現象の特徴であり、海岸線に集中的な降雨をもたらすことがわかっている⁷⁾。

本研究では、2009年以降継続的に水文・気象観測を行ってきたインドネシア・スマトラ島リアウ州において、あらたにCOおよびPM2.5の大気観測ならびに水文気象観測を実施する。大気汚染の様相の把握および大気汚染と水文気象情報との関連性を分析する。さらに、火災や大気汚染などの災害情報を住民らと相互に共有し、大気および水文気象情報を活用した防災情報の構築に役立てる。

2. データ

2023年7月11~17日にかけて（以下、年情報はすべて2023年とし省略。すべて現地時刻）、インドネシア・スマトラ島リアウ州の10箇所（図1）の民家に大気観測機器および雨量計を設置した（図2）。大気観

測機器は LASCAR Electronics 社製の EL-USB-CO（以下、CO 計）およびアイデック社製の P-Sensor（以下、PM2.5 計）である。うち 2 箇所にフィールドプロ社製の小型転倒ます雨量計 RFT25（以下、雨量計）を設置した。1 回の転倒雨量は 0.5mm である。加えて、Onset 社の HOBO ペンダントイベント温度ロガーを雨量計に接続して、降雨履歴および温度を記録した。計測の時間解像度は CO 計と PM2.5 計が 5 分ごと、雨量と温度のデータが 10 分ごとである。

機器のメンテナンス（CO 計のバッテリーの交換含む）およびデータの回収を 10 月 22～27 日に行った。PM2.5 計にはバッテリーが内蔵されていないため、2、3 時間の停電に対応できるように、商用電源と PM2.5 計との間にモバイルバッテリーを常時接続させた。

データ分析にあたり、PM2.5 計および CO 計のデータは 1 時間最大値を算出する。両者は、1 時間よりも短い時間間隔でピークが生じることもあり、時間平均をとると値の変化が生じにくくなるためである。雨量計および温度のデータはそれぞれ日積算、日最大を算出する。Taufik ら³⁾の火災リスク指標によると、日最大気温と東南アジアの赤道気候に対応した平均年間降雨量、蒸発散量を用いて干ばつ係数の計算を行っている。

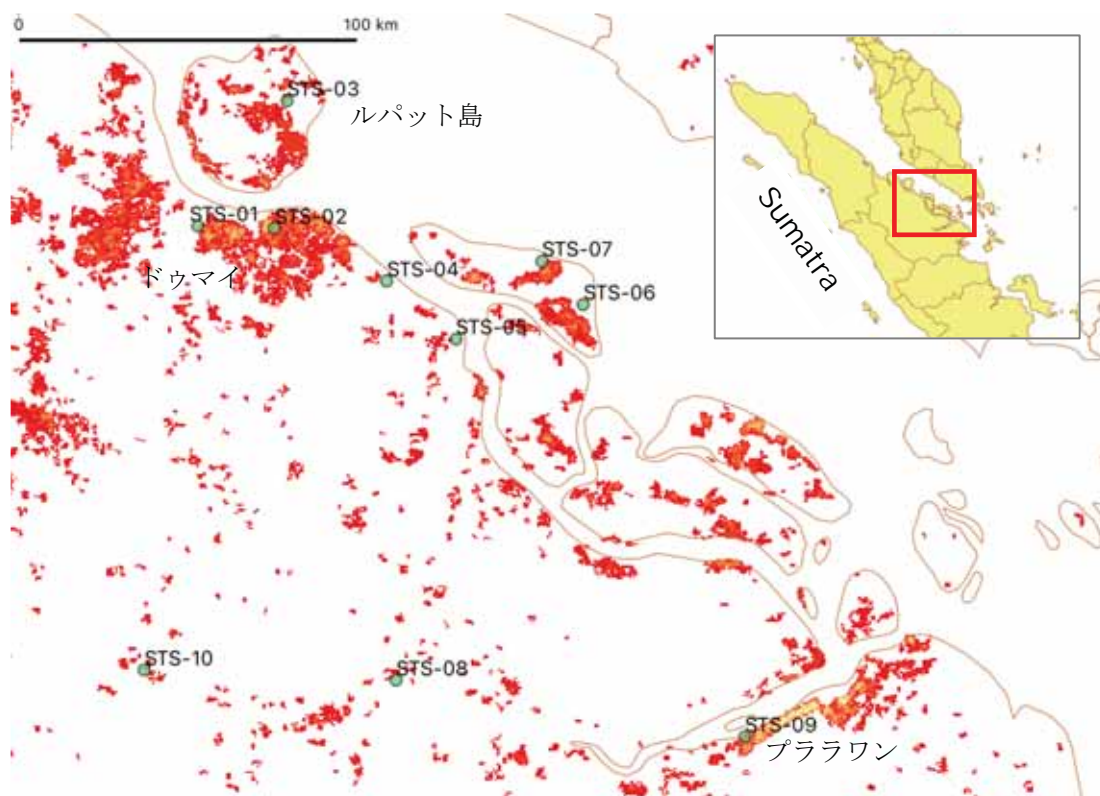


図 1 インドネシア・スマトラ島リアウ州にて大気観測機器が設置された 10 地点の場所（緑丸）。STS-03 および STS-09 には雨量計も設置された。赤色とオレンジ色のコンターは、2000～2020 年に衛星で検出されたホットスポットの数を示し、それぞれ 1 個と 5 個を示す。



図 2 左：CO 計、中央：CO 計と PM2.5 計、右：雨量計。

3. 結果と考察

(1) ドゥマイ市の現地の火災情報と大気観測結果

現地報道および住民より入手したドゥマイ市の 2 件の火災情報（図 4）をもとに、最寄りの大気観測所 STS-01 のデータを確認した（図 3, 4）。火災のあった 8 月 3 日には PM2.5 の最大値が約 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、10 月 17 日の

火災では最大値が約 $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度のピークが 1 日にまとまって見られた日は他の日にも見られ、火災のあった日とそれ以外の日では、PM2.5 の値に大きな違いは見られなかった。また火災のあった日時の周辺は CO の値が反応しない場合もあった。PM2.5 と CO が大気の流れに沿ってどのように分散するのかを理解する必要がある。さらに各民家ではゴミを燃やす習慣が見られた。今後、ゴミの焼却や料理など生活活動が大気観測データへ与える影響、火災による影響との違いを、統計的な解析によって検討する必要がある。また火災による大気汚染の影響をより理解するため、現地の火災情報を継続して収集していく必要がある。10 月末頃から、スマートフォンアプリを通じて、住民が現地の災害に関する画像をアップロードし、ユーザーが相互に情報共有できる取り組みを始めつつある（図 5）。

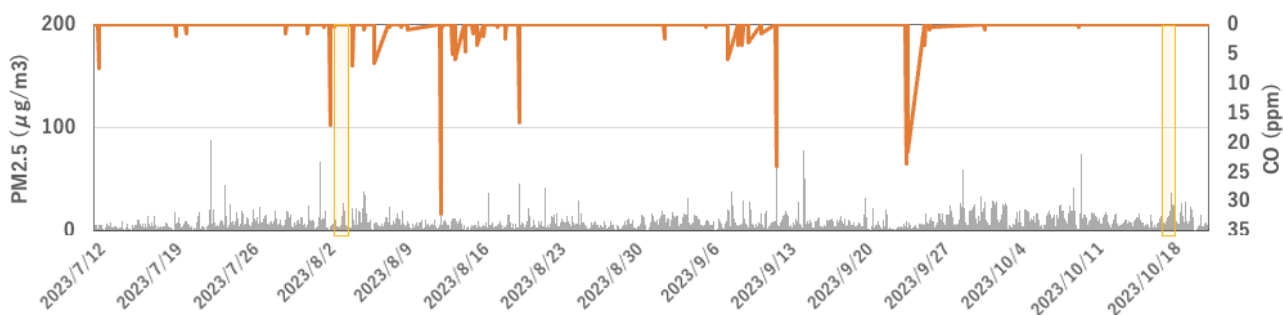


図 3 STS-01 における大気および水文気象観測の結果。PM2.5（灰色の棒グラフ）と CO（オレンジの折れ線）。オレンジ色の枠で囲まれた期間は 8 月 3 日と 10 月 17 日であり、付近で森林および土地火災が見られた日である。火災情報の詳細は図 4 に後述。



図 4 現地の火災情報。左：8 月 3 日 8 時 57 分頃に STS-01 から南南東の方向約 9.8km の地点で火災が発生した⁸⁾。右：10 月 17 日 13 時頃に STS-01 から南西方向に約 400m の地点で火災があったことが近隣住民の情報からわかった。現地報道によると周辺の 2 ヘクタールが消失した⁹⁾。10 月 21 日筆者撮影。



図 5 左：スマートフォンアプリにアップロードされた現地の降雨画像。火災、天気、煙霧に関する現地の情報を発信する。右：スマートフォンアプリでは気象レーダー⁶⁾による直近約 15 分前の降雨情報を準リアルタイムで閲覧することができる。画像は PC 用ウェブサイトのスクリーンキャプチャ¹⁰⁾。

(2) プラワン県における大気および水文気象観測結果

雨量計を設置したうちの 1 地点において、大気汚染の様相と水文気象情報との関連性を分析した（図 5）。プラワン県の観測所 STS-09 では、7 月 17 日から 24 日の観測期間中に日降雨が $40\text{mm}/\text{day}$ を超える日が 2 日間見られた。日雨量が $5\text{mm}/\text{day}$ 以下の日が 6 日以上続いた期間（少雨期間）を抽出した。7 月 24 日から 8 月 7 日までの 15 日間の少雨期間では PM2.5 が $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上のときが少なくとも 6 時間分以上見られた。世界保健機関（WHO）が指針として示す許容濃度の 20 倍である。この少雨期間では日最大気温の 7 日間移動平均値は約 40°C の日があり、全体の観測期間を通して、最も高い値を記録した。当該期間において、CO が 5ppm 以下のときが頻繁に見られ、 5ppm 以上のときもみられた。

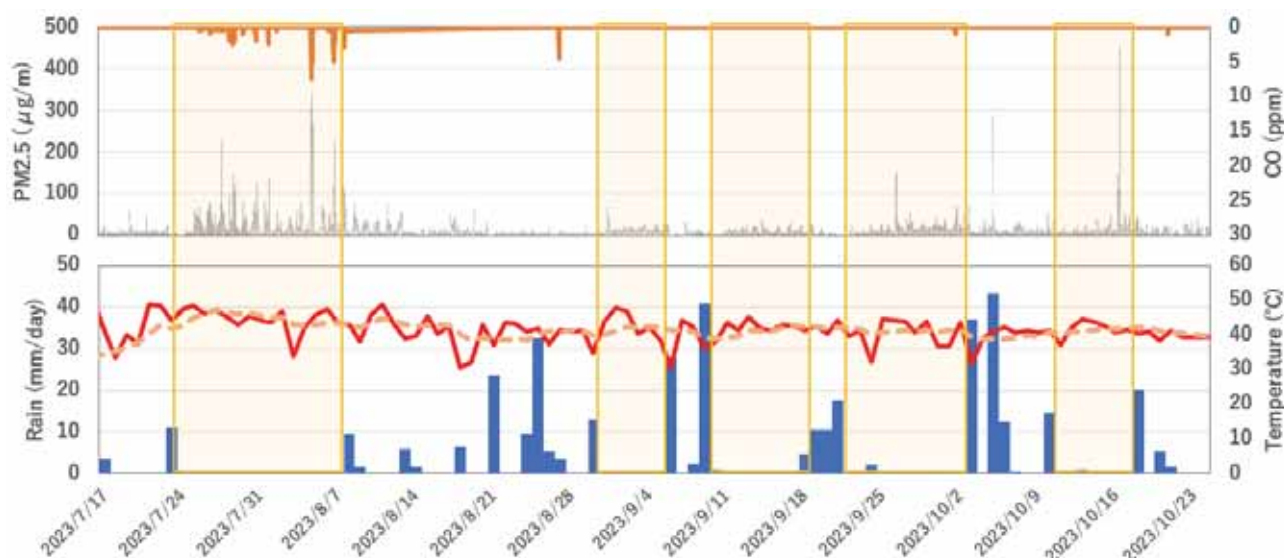


図5 プララワン県の観測所 STS-09 における大気および水文気象観測の結果。

上：PM2.5（灰色の棒グラフ）と CO（オレンジの折れ線）、下：日雨量（棒グラフ）および気温の日最大値（実線）と 7 日間移動平均値（点線）。オレンジ色の枠で囲まれた期間は日雨量 5mm/day 以下の日が連続して 6 日以上続いた日。

4. まとめ

2023 年 7 月から 10 月後半にかけて、インドネシア・スマトラ島リアウ州の 10 箇所の民家において大気観測および水文気象観測を実施した。現地報道より入手した火災情報をもとに、最寄りの大気観測所のデータを確認した。火災のあった日とそれ以外の日では、PM2.5 の値に大きな違いは定性的には見られなかった。PM2.5 と CO が大気の動きに沿ってどのように分散するのかを検討する必要がある。さらにゴミの焼却や料理など生活活動が大気データへ与える影響と火災による影響との違いを、統計的な解析によって議論する必要がある。

雨量計を設置した地点において、大気汚染の様相と水文気象情報との関連性を分析した。15 日間にわたる少雨期間では PM2.5 が $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上のときに少なくとも 6 時間分以上見られた。日最大気温の 7 日間移動平均値は約 40°C のときがあり、全体の観測期間を通して、最も高い値を記録した。

今後、気象レーダー⁶⁾の観測範囲である 5 つの観測所 STS-02、STS-04、STS-05、STS-06、STS-07 において、大気汚染と水文気象との関係を解析する。加えて、火災による大気汚染の影響をより理解するため、スマートフォンアプリを活用するなどして、住民らと相互に災害情報を共有し現地の火災情報を収集していく。

参考文献

- Hayasaka, H., 2023: Fire Weather Conditions in Plantation Areas in Northern Sumatra, Indonesia, *atmosphere*, 14(10), 1480. <https://doi.org/10.3390/atmos14101480>
- JICA 2022: 全世界泥炭地保全協力に係る情報収集・確認調査 国内再委託業務 報告書, pp.47.
- Taufik M., M. T. Widyastuti, A. Sulaiman et al. (2022). An improved drought-fire assessment for managing fire risks in tropical peatlands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 312, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108738>
- 亀岡 大真, 甲山 治ら, 2020: 赤外線カメラ搭載型ドローンを用いた泥炭火災の地図化, 写真測量とリモートセンシング, 59(5), 214-220. <https://doi.org/10.4287/jsprs.59.214>
- 甲山治: 泥炭湿地における降水現象と地下水位変動. 講座 生存基盤論 4 熱帯バイオマス社会の再生, 京都大学学術出版会, 271-287, 2012.
- Ogawa M., M. D. Yamanaka, and O. Kozan et al., 2023: E. Yulihastin et al. Eds., *Proceedings of the INCREASE 2022*, Chapter 3, Springer Proceedings Phys., 290, 33-44. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-9768-6>
- Yamanaka, M. D. et al., 2018: Maritime continent coastlines controlling Earth's climate, *Prog. Earth Planet Sci.*, 5(21), 1-28. <https://doi.org/10.1186/s40645-018-0174-9>
- RIAUTV, <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=YVixlG1qziE>, (accessed 2024-01-12)
- RiauPos.co, <https://riaupos.jawapos.com/dumai/2253595692/dua-hektare-lahan-di-samping-bandara-pinang-kampai-terbakar>, (accessed 2024-01-12)
- Radar X-band untuk monitoring curah hujan dan sebaran kabut asap. <https://xbr.web.id/etalase/>, (accessed 2024-01-12)

東南アジアにおけるヒトから霊長類へのウイルス感染の特定

Identification of human-to-primates viral spillover in Southeast Asia

オフィンニ ユディル¹, 山田 千佳¹, 藤澤 道子²,
坂本 龍太¹, ヒダヤット ヘルマン³, 山崎 渉¹

Youdiil OPHINNI¹, Chika YAMADA¹, Michiko FUJISAWA²,
Ryota SAKAMOTO¹, Herman HIDAYAT³, Wataru YAMAZAKI¹

¹京都大学東南アジア地域研究研究所

Center for Southeast Asian Studies (CSEAS), Kyoto University

²京都大学野生動物研究センター

Wildlife Research Center (WRC), Kyoto University

³インドネシア国立研究革新庁

Indonesian National Research and Innovation Agency (BRIN)

We explored the relationships between humans, non-human primates (NHP), and their viral ecosystems in Indonesia, where the highest animal biodiversity resides yet anthropogenic activities are causing drastic ecological changes. Metaviromic analysis of orangutans, Mueller's gibbons, and human samples reveals both similarities and differences in viral landscapes, highlighting the importance of understanding host-specific viral diversity. Our findings emphasize the presence of known human viruses in NHP, underscoring the need for vigilant management of interspecies contact, and a One Health approach that promote sustainable ecological to minimize the risks posed by viral transmission, in the face of escalating anthropogenic desecrations and climate change in Indonesia and in Southeast Asia in general.

Key Words : *zoonosis, anthroponosis, non-human primate, metavirome, next generation sequencing, Indonesia*

1. Introduction

Nearly 75% of emerging human pathogens are zoonotic (transmitted from animals to humans), while up to 90% of animal pathogens are of multi-species origin, with anthroponotic (humans to animals) transmission reported in all continents except Antarctica (1). Zoo- and anthroponotic transmission have been responsible for viral pandemics in animals (H5N1 'bird' flu, H1N1 'swine' flu) and humans (HIV/AIDS, SARS, COVID-19), as well as deadly endemics in animals (Ebola, pneumovirus) and humans (rabies, yellow fever).

Concerningly, viral spillover events are increasing in frequency. Five deadly zoonotic viral pandemics have happened in the past century, and the probability of epidemics may increase 3-fold in the coming decades (2). COVID-19, which has cost 6.8 million human lives and 12.5 trillion USD in the global economy, is only one example of how drastic human actions have broken the ecological stability in this Anthropocene epoch. A Nature paper projected that cross-species spillover would be intensified by anthropogenic climate change due to geographical shifts of viral reservoirs (bats, rodents) (3). The tropical Southeast Asian region bears a disproportionately large burden of climate change, and Indonesia is the country with the brightest hotspot for such viral sharing events.

With 17% of the global diversity and the most mammals by 515 species, Indonesia is the second most biodiverse country. Wildlife and humans have cohabitated since ages ago in ecological nexuses in the 17,000-island nation, as most indigenous lands are located within or near frontier forests. However, decades of land-grabbing and systemic depletion of indigenous rights occurred via out-of-Java mass transmigration and widespread deforestation for logging, mining, and plantations. From 2000 to 2021, Indonesia lost 28.6 Mha or 18% of its tree cover (≈ 19.7 Gt CO₂e) (4). Habitat destruction threatens biodiversity in Indonesia, which now has the second most endangered species, totalling 583 species, and the most endangered mammal worldwide, which is 191.

How can we address the vulnerability of ecological interfaces in Indonesia, in the face of drastic anthropogenic damage? Measuring viral landscape and spillover events may indicate the extent of disruption of the nature-human interface, ideally with a One Health approach, which is for the benefit of all living things - animals, humans, and nature are viewed as dynamic, "coupled systems" (5). A One Health-centered approach is important to establish data and evidence-based mitigation policy. In this study, we hope to uncover signs of anthropogenic damage in the viral ecology by comparatively map the virome of animals, in this case non-human primates, and humans that live and roam similar area in Indonesia.

2. Methods

Due to the above reasoning, in this pilot, we focused on Kalimantan, where half of the land area are rainforests and whose ecosystem harbors the highest animal biodiversity. Indeed, anthropogenic invasions are ongoing in several province, such as the proposed country capital relocation and large-scale coal mining and extraction in East Kalimantan, and the recent deforestation for food estate project in Central Kalimantan, thus threatening the stability of the interspecies ecological nexus. Here, we have chosen a National Park located in East Kalimantan which harbors multiple species of non-human primates (NHP), including endangered and protected animals, such as orangutans (*Pongo pygmaeus*) and Mueller's gibbon (*Hylobates muelleri*).

Samples were taken from both NHP and related human caretakers, who are the most exposed to said animals and potentially bears the highest risk of cross-species viral spillover. Whole bloods were taken and collected in EDTA tube, processed by centrifugation into serum, and stored in -80°C for long term storage. Swabs from pharynx and rectum will be collected in viral transport media, mixed with RNAlater (Thermo Fisher) and stored in -80°C . In these samples, RNA extractions were done using QIAamp DNA/RNA extraction kit (QIAGEN). Library preparations for next generation sequencing (NGS) RNA sequencing (RNA-seq) were done using NEBNext Ultra II RNA Library Prep Kit for Illumina (New England Biolabs) and NGS was conducted in Illumina MiSeq platform (Illumina). For metaviromic analysis, FASTQ files were analyzed and cleaned with FastQC (6), trimmed with Trimmomatic (7), exclusion-aligned with respective host genome with bowtie2 (8), and finally BLAST aligned to NCBI viral library (www.ncbi.nlm.nih.gov/labs/virus) and a curated Reference Viral Database (RVDB) (9) to detect viral sequences. All analyses were done in R 4.3.2 or Geneious R11.

3. Results

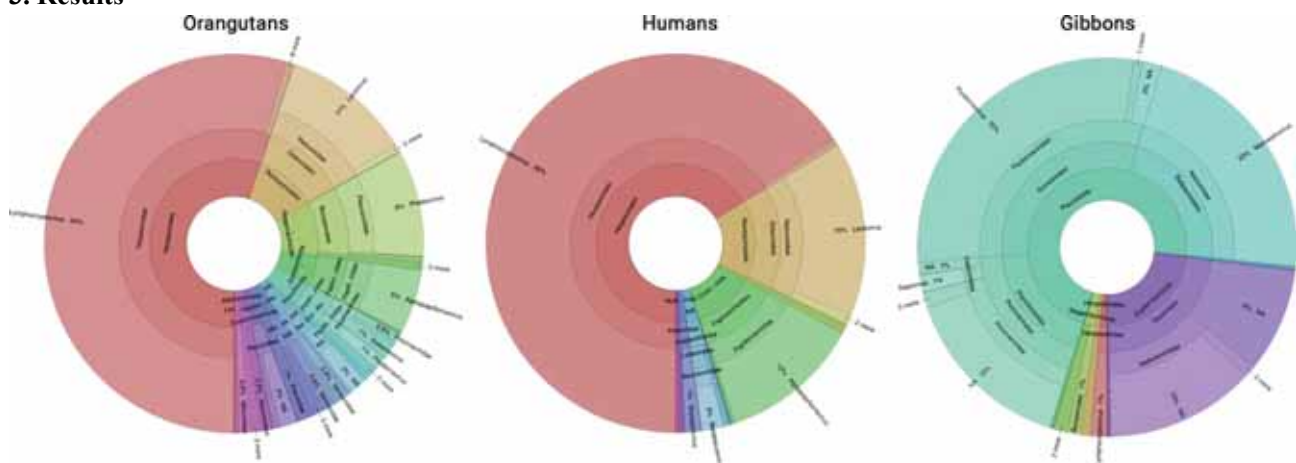


Figure 1: Viral sequence diversity shown in pooled Krona charts to the genus level found in orangutans, humans, and gibbons in Kalimantan, Indonesia.

We pooled the RNA-seq results from each species analyzed in this study, which are orangutans, Mueller's gibbons, and humans (**Figure 1**). RNA samples from orangutans and humans showed a somewhat similar outlook, which were dominated by integrating DNA viruses, such as lymphocryptovirus (54% v. 66%), lentivirus (11% v. 15%), and alphapapillomavirus (5% v. 12%). These three genres were dominated by the ubiquitous gamma herpesvirus 4 or Epstein-Barr virus, alphapapillomavirus 9 or human papilloma virus, and long terminal repeat (LTR) sequences, which may be originated from endogenous viral sequences – possibly leaked from host genome sequential exclusion due to the repeating nature of such fragments. Nevertheless, orangutan samples also exhibited

a higher viral family diversity than that found in humans, and included phleboviruses, *Picobirnavirus sp.*, picornaviruses (*Picornaviridae sp.* and teschovirus), and poxviruses. Phlebovirus, in this case, was dominated by Rift valley fever virus (RVFV), which is a viral zoonosis mostly affecting domesticated mammals but also has the capacity to infect humans, with symptoms ranging from mild flu-like illnesses to a more severe form of hemorrhagic fever. Poxviruses are also concerning, as we found signs of monkeypox virus (MPXV) and molluscum contagiosum virus (MCV) from orangutans, while the 2022-2023 international outbreak of monkeypox has prompted the zoonosis as a public health emergency by the World Health Organization (10). While MPXV in humans (hMPXV) exhibited a separate clade with that in orangutans, novel zoonosis should be cautioned especially in high interspecies contact environment. Other minor findings most likely came from environmental contamination, such as the mammalian-restricted betabaculoviruses from arthropods and *Sobemovirus sp.* from ingested plants.

On the other hand, RNA samples from gibbons showed a strikingly different pattern, in which four families of viruses were the overwhelming majority: picobirnavirus (29%), mamastrovirus (22%), reovirus (22%), and picornavirus (18%). *Picobirnavirus sp.* and mamastrovirus may infect and damage mammalian (including human) intestines and causes infantile gastroenteritis, respectively. In the *Reovirales* order, we found traces of rotavirus C in gibbon samples, which is the main cause of acute diarrhea among children worldwide and whose zoonotic pattern remains unclear (11). Thus, our metaviromic results in gibbon warns the risk in fecal-oral transmission of enteric viruses and emphasize the importance of food hygiene management in not only human caretakers but also NHP, to prevent zoo-/anthroponotic spread. Nevertheless, cross-species transmission is determined by viral tropism to host receptors, and thus, it is of benefit to acknowledge the genetic distance between different primates, including humans (**Figure 2**). Amino acid diversity of viral receptors may be similar enough to facilitate zoonosis, such is in the case of the NTCP receptor of hepatitis B virus (HBV), which might enable recombination of HBV sequences between orangutans and humans, or different as in the case of CD4 receptor of either human immunodeficiency virus-1 (HIV-1) and simian immunodeficiency virus (SIV), which are species-specific. Thus, viral family-specific investigation with comprehensive host tropism evaluation would be necessary to assess zoo-/anthroponotic risk of viral infectious diseases.

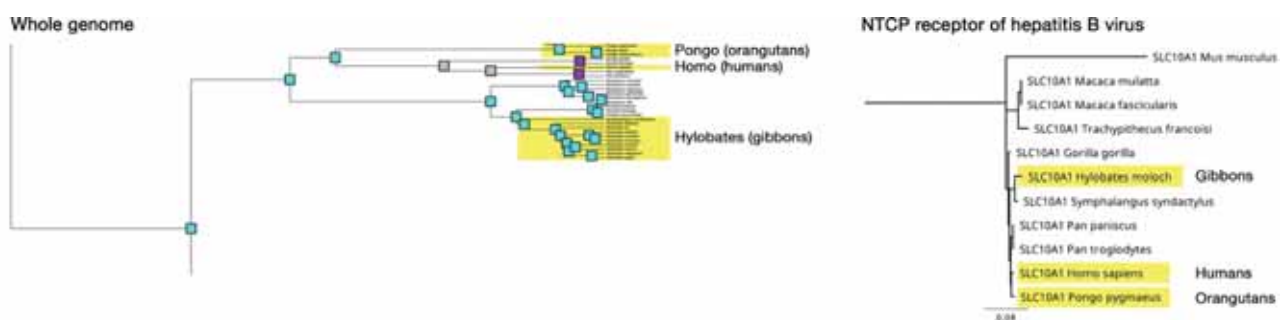


Figure 2: Phylogenetic tree of both whole genome and the genotype of NTCP receptor of the hepatitis B virus, showing the genetic distance between orangutans, humans, and gibbons.

4. Conclusions

The biodiverse landscape of Indonesia sheds light on the intricate relationships between humans, NHP, and their viral ecosystems. Our metaviromic analysis revealed both similarities and differences in the viral landscapes of orangutans, Mueller's gibbons, and humans, emphasizing the importance of understanding host-specific viral diversity. The presence of known human pathogens in non-human primates and vice versa calls for heightened vigilance in managing interspecies contact to mitigate the threat of infectious diseases.

Concerningly, the loss of biodiversity and disruption of ecological nexuses contribute to the vulnerability of these interfaces, increasing the likelihood of viral spillover. Moving forward, a One Health approach that considers the interconnectedness of animals, humans, and the environment, is imperative for devising effective mitigation strategies. Policies that address the root causes of habitat destruction, promote sustainable land-use and ecological practices, and enhance wildlife conservation are vital to minimize the risks posed by viral emergence and transmission. Our study underscores the intricate dynamics at play in the nature-human interface and emphasizes the urgency of adopting holistic and proactive measures to protect both biodiversity and public health in the face of escalating anthropogenic challenges in Indonesia and in Southeast Asia in general.

References

1. Woolhouse MEJ, Gowtage-Sequeria S. Host range and emerging and reemerging pathogens. *Emerg Infect Dis.* 2005;11: 1842–1847. doi:10.3201/eid1112.050997
2. Marani M, Katul GG, Pan WK, Parolari AJ. Intensity and frequency of extreme novel epidemics. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2021;118: e2105482118. doi:10.1073/pnas.2105482118
3. Carlson CJ, Albery GF, Merow C, Trisos CH, Zipfel CM, Eskew EA, et al. Climate change increases cross-species viral transmission risk. *Nature.* 2022;607: 555–562. doi:10.1038/s41586-022-04788-w
4. Global Forest Watch. Indonesia Deforestation Rates & Statistics | GFW. [cited 12 Jan 2024]. Available: <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/IDN/>
5. Liu J, Dietz T, Carpenter SR, Alberti M, Folke C, Moran E, et al. Complexity of coupled human and natural systems. *Science.* 2007;317: 1513–1516. doi:10.1126/science.1144004
6. Andrews, S. Babraham Bioinformatics - FastQC: A quality control tool for high throughput sequence data. [cited 12 Jan 2024]. Available: <https://www.bioinformatics.babraham.ac.uk/projects/fastqc>
7. Bolger AM, Lohse M, Usadel B. Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data. *Bioinformatics.* 2014;30: 2114–2120. doi:10.1093/bioinformatics/btu170
8. Langmead B, Salzberg SL. Fast gapped-read alignment with Bowtie 2. *Nature Methods.* 9: 357. doi:10.1038/nmeth.1923
9. Bigot T, Temmam S, Pérot P, Eloit M. RVDB-prot, a reference viral protein database and its HMM profiles. *F1000Research*; 2020. doi:10.12688/f1000research.18776.2
10. Ophinni Y, Frediansyah A, Sirinam S, Megawati D, Stoian AM, Enitan SS, et al. Monkeypox: Immune response, vaccination and preventive efforts. *Narra J.* 2022;2. doi:10.52225/narra.v2i3.90
11. Parashar UD, Gibson CJ, Bresee JS, Glass RI. Rotavirus and severe childhood diarrhea. *Emerg Infect Dis.* 2006;12: 304–306. doi:10.3201/eid1202.0

持続可能社会創造ユニット 令和5年度 研究成果報告書 (2024年3月発行)

Research Report FY2023 / Research Unit for Realization of Sustainable Society (issued in March 2024)

〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学持続可能社会創造ユニット

Research Unit for Realization of Sustainable Society, Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto, 611-0011, JAPAN

TEL: +81-774-38-4936 <https://rurss.iae.kyoto-u.ac.jp/>

持続可能社会創造ユニット広報委員会 / 梅村 研二, 佐山 敬洋

Public Relations Committee of RURSS / K. Umemura, T. Sayama