

CONTENTS

研究最前線

- ▷ 温暖化 強まる豪雨 守ろう笑顔！
社会基盤工学専攻 防災工学講座
水文気象工学分野
- ▷ 地表・海底地盤・地下空間に至る地盤・
岩盤工学課題への挑戦
都市社会工学専攻
ジオマネジメント工学講座
ジオフロントシステム工学分野
- ▷ 地球資源システムにかかわる地殻の物
性・応力・変動の解明
都市社会工学専攻 地球資源学講座
地球資源システム分野

スタッフ紹介

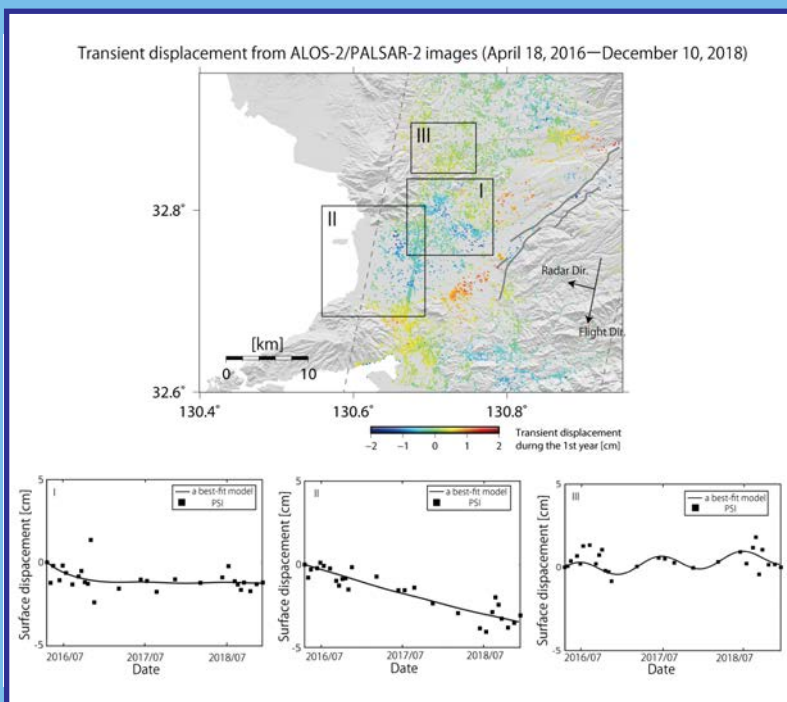
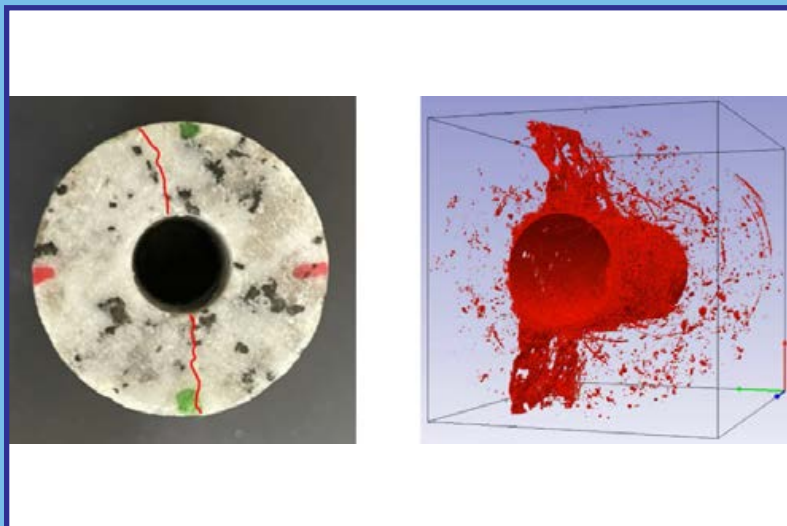
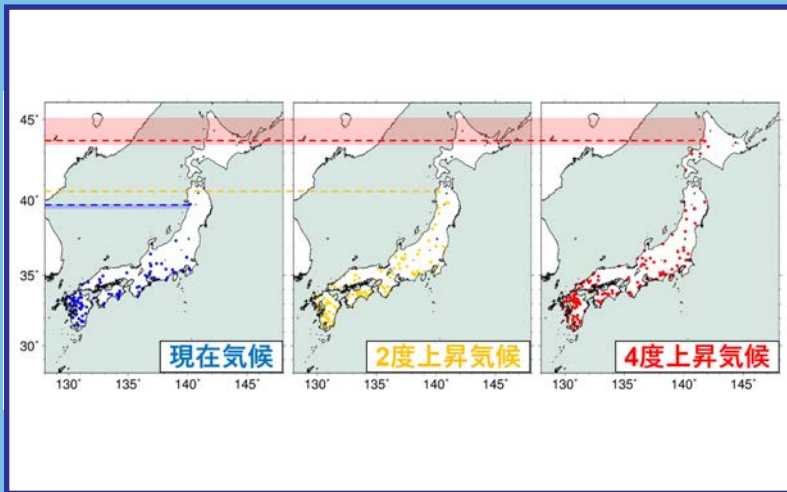
- 防災研究所 砂防工学分野
教授 中谷 加奈
都市社会工学専攻 地球資源学講座
地殻環境工学分野 助教 久保 大樹

院生の広場

- 院生紹介
：修士課程 2 年 久岡 勇登
：修士課程 2 年 杉本 遼哉
：修士課程 1 年 菅生 賢

東西南北

- 受賞
新聞掲載、TV 出演等
人事異動
大学院入試情報
専攻カレンダー



- 図上：温暖化による梅雨豪雨の北上
(P2 中北研)
- 図中：水圧破碎試験後の岩石供試体と抽出した亀裂の 3 次元分布
(P5 安原研)
- 図下：人工衛星搭載 SAR のデータを用いて推定した 2016 年熊本地震後の熊本地域の地表変動分布と時系列地表変動の例
(P10 林研)

研究最前線

温暖化 強まる豪雨 守ろう笑顔！

社会基盤工学専攻 防災工学講座 水文気象工学分野

教授 中北 英一

准教授 山口 弘誠

助教 仲 (小坂田) ゆかり

気象レーダーを用いたゲリラ豪雨・集中豪雨の予測から地球温暖化に伴う雨の降り方の将来変化に至る様々なスケールの降雨現象を対象として、防災というミッションのもと豪雨災害から命と笑顔を守るため、以下のような研究を進めています。さらに、レーダー行政、気候変動下の治水行政に大きな貢献をしています。

1. 地球温暖化による豪雨の将来変化解析と後悔しないための適応策

近年、2017年九州北部豪雨、2018年西日本豪雨、2019年台風19号、2020年九州豪雨など、甚大な豪雨災害が日本各地で頻発しています。こうした最近の豪雨は、温暖化の影響で雨量が増加し始めているという事実が科学的にも示されており、既に今までの常識が通用しなくなっているにもかかわらず、地球温暖化は今後も進行していくことが予測されています。次の世代、次の次の世代まで続く安全な社会を創り、人々の命を守るため、後悔しないように今のうちから将来の防災計画や温暖化への適応策について考えておく必要があります。

そこで当研究室では、将来の工学的な計画にまで利用可能な詳細かつ精緻な将来予測情報を創出するため、単独の積乱雲から発生するゲリラ豪雨や、複数の積乱雲で構成される線状対流系豪雨（梅雨前線などの停滞前線に伴って発生する）といった局所豪雨を対象に、それらの将来変化予測やメカニズム解析を行っています。

ゲリラ豪雨に関しては、高解像度の領域気候モデルデータを解析することで、将来では近畿地方のゲリラ豪雨の発生頻度が8月全体、特に8月下旬で増加することを明らかにしました。その要因として、温暖化によって地上の水蒸気量が近畿地方周辺で増加するという熱力学効果と、南からの下層風（日本の南には海洋が広がるため、大気を含みうる水蒸気量が多い）が近畿地方へ流入する頻度が増えるという力学効果が存在することを解明しました。さらに、高解像度の数値シミュレーションを行い、将来は水蒸気量の増加によって浮力が増大することで、ゲリラ豪雨をもたらす積乱雲そのものが増大し、積乱雲内へ多くの水蒸気量が吸い込まれることで、ゲリラ豪雨の雨量も増加するというメカニズムを明らかにしました。

梅雨前線に伴う線状対流系豪雨に関しても、精力的に研究を進めています。高解像度の領域気候モデルを解析した結果、温暖化が進むにつれて線状対流系豪雨の発生頻度は全国的に徐々に増加し、将来はこれまで豪雨が発生してこなかったような北日本や北海道でも新たに発生し始めることがわかってきました（図1）。これは、豪雨に対して脆弱な地域でも将来は豪雨が発生し始めるという意味で、防災的にも非常に重要な意味を持つ結果です。また、線状対流系は前線による収束起因か自己組織起因かで複数のタイプが存在し、それぞれ将来変化傾向が異なることも発見しました（図2）。さらに、将来の線状対流系は強度も強くなり、2017年九州北部豪雨の雨量は現在気候の範疇ではあるもののかなり上位クラスの事例であり、将来では標準的に発生しうる雨量であることを明らかにしました。こうした将来変化に

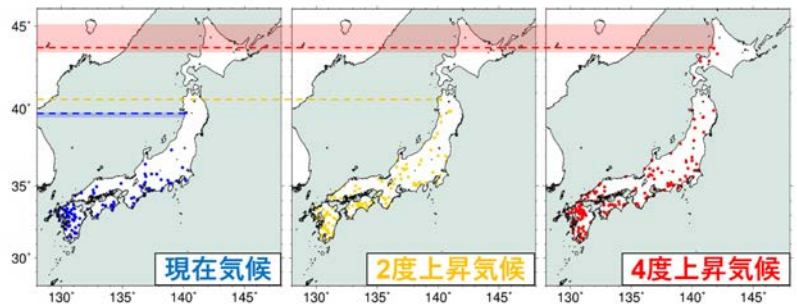


図1 梅雨前線に伴う線状対流系豪雨の発生位置の将来変化

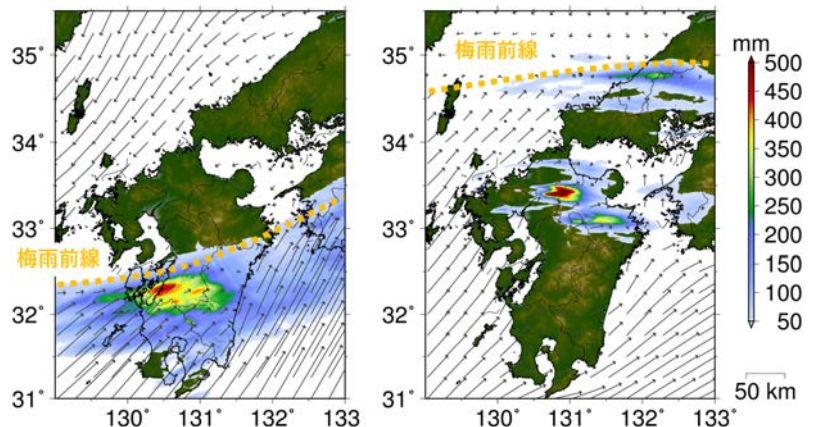


図2 梅雨前線に伴う線状対流系豪雨の2つのタイプ

加えてそのメカニズムも高解像度数値シミュレーションなどで明らかにしました。

こうした温暖化影響予測研究を進めながら、近年の豪雨災害について、土木学会調査団として豪雨災害の被害調査を行うとともに、地球温暖化影響に関する考究を行ってきました。近年、甚大な被害をもたらしてきたような豪雨は将来、より頻繁に・より強力に・初めての地域にも起こり得るということ、そして既に現在気候の範疇を超えるような豪雨が発生し始めており、今までの常識が通用しなくなっているという教訓を提言してきました。そして、後悔しない地球温暖化への適応として、これらの科学的知見に基づく考え方が重要であることを説き、国の施策立案に貢献しています。

2. 豪雨の生成・発達に関するメカニズム解明と予測

ゲリラ豪雨、梅雨前線、台風がもたらす豪雨によって、鉄砲水・斜面崩壊、内水・越水氾濫による災害が生じており、以前にも増して社会の注意が払われるようになってきました。その注目の大きな理由は、社会一般が近年あまり経験してこなかった規模や形態の豪雨や出水が生じていることと、地球温暖化が寄与していることが科学的に明らかになってきたこと、それらの認識が社会一般にも広まったことにあると考えられます。当研究室では梅雨期の線状対流系豪雨と、夏季の熱雷によってもたらされるゲリラ豪雨に関して、両者の生成・発達過程に焦点をあてて、メカニズム解明と防災を意識した予測手法の開発を進めています。

2008年の神戸市都賀川で発生した鉄砲水の原因となった突然生成し急速に発達した積乱雲のレーダー3次元解析から、初期の段階に上空で探知されるレーダーエコー（ファーストエコー）のことを「ゲリラ豪雨のタマゴ」と名付けました。このゲリラ豪雨のタマゴがどのように生成・発達するのかという積乱雲の初期段階、すなわち“ストームジェネシス”のプロセスを明らかにすることが科学的にも社会的にも極めて重要であると考えています。そこで、神戸市や六甲山エリアにおいて、“大阪湾から流入する水蒸気が都市の熱的上昇流によって上空に運ばれ凝結して雲になりさらに降水へと発達する”、という一連の

プロセスを観測対象の異なる測器群（マルチセンサー）でシームレスに連続的に捉えることを目的とした大規模フィールド観測実験を2011年から実施しています（図3）。

その大規模フィールド観測実験によって、積乱雲の生成・発達に大きく寄与する気流の渦管構造の解明が飛躍的に進んでいます。まず、降水レーダーの3次元観測データを用いてゲリラ豪雨35事例を調べたところ、全ての事例においてその発達初期段階（豪雨のタマゴの段階）において積乱雲内部に高い鉛直渦度が存在することを示し、さらにほとんどの事例において正負ペアの鉛直渦管が形成されていることを発見しました。この知見がベースとなって、現在、国土交通省において現業システムが運用されています。さらに、降水レーダーよりも早期のステージを探知することができる雲レーダー観測によって、タマゴよりもさらに早期の積雲や積乱雲初期においても、正負ペアの鉛直渦管構造が存在することを見つけました。加えて、このような渦管形成過程を表現するためのLarge Eddy Simulation (LES) に基づく都市気象モデルを独自開発し、雲物理モデルと結合させることによって、積乱雲の生成からタマゴの形成やその後の発達過程を高解像度数値計算することが可能になりました（図4）。

さらに、渦管構造に対して、タマゴ渦生成から積乱雲への発達過程をマルチセンサーとLESモデルによってシームレスに解釈することができました。特に、発達初期以降鉛直渦度の時空間構造にスケール階層構造があることが明らかになりました（図5）。また、一つの積乱雲内部にもタレットと呼ばれる房構造があり、発達するタレットには渦度の大きな鉛直渦管構造があることも示しました。その他、高詳細観測で観測ノイズのように見られる鉛直渦管の水平分布は物理的に有意な水辺分布であることをLESによる詳細数値シミュレーション結果との比較から明らかにしました。

このように基礎観測による新たなプロセスの発見をベースとして、精緻な数値モデルの独自開発も行いながら、積乱雲の生成・発達過程における渦管の振る舞いの解明に貢献しています。さらに、それらの知見を国と連携しながら水防災の実践的手法へと

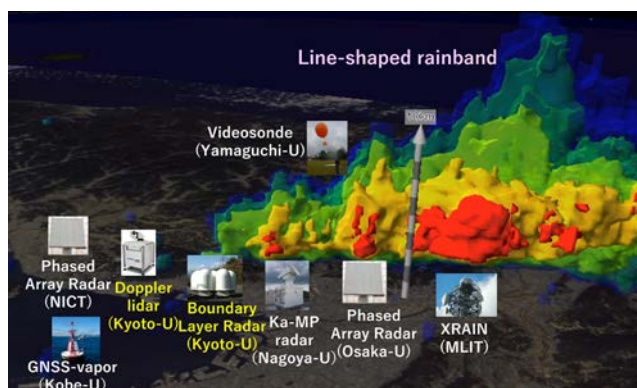


図3 ゲリラ豪雨・線状降水帯の生成・発達を捉える夢の観測

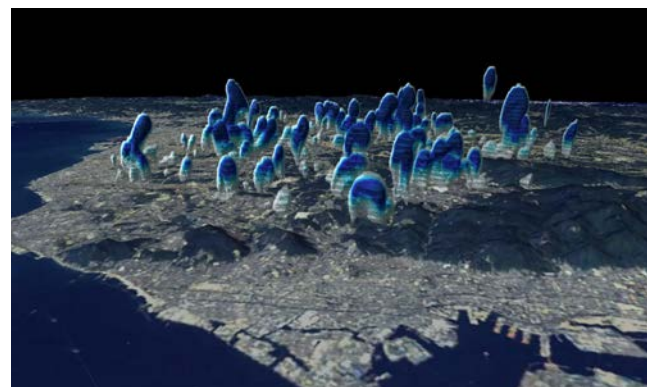


図4 高解像度 LES モデルで計算された都市上空の積雲

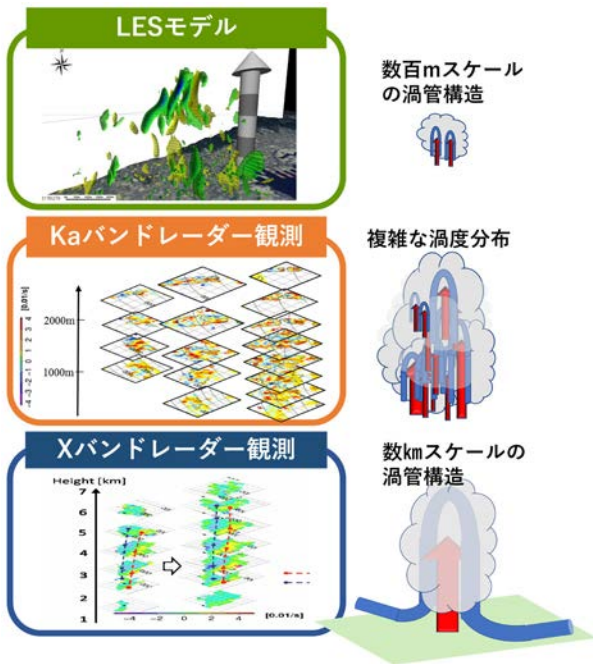


図5 積乱雲内部にある渦管のスケール階層構造

発展させることにも注力しています。今後も更なる解明のために、新たな観測の実施や手法開発を楽しみながら、10年後の実用化を目指して研究を発展していきたいと思ひます。

3. 豪雨を鎮める気象制御

豪雨がもたらす洪水・氾濫に対して、これまで人類は水を治める（=治水）技術を培ってきて人類の生命と財産を守ってきました。とりわけ、明治時代以降、堤防などの西洋からの土木技術を導入し生命と財産を守ると同時に、ある意味で人と自然を規定する（切り分ける）という解釈をしてきたように思ひます。昨今、全国各地で毎年のように激甚な豪雨災害が発生していますが、地球温暖化や都市のヒートアイランド化によって豪雨が強まっていることが指摘されていて、今後もその傾向が強まると推測されています。地球温暖化も都市のヒートアイランド化もそこには人間活動が

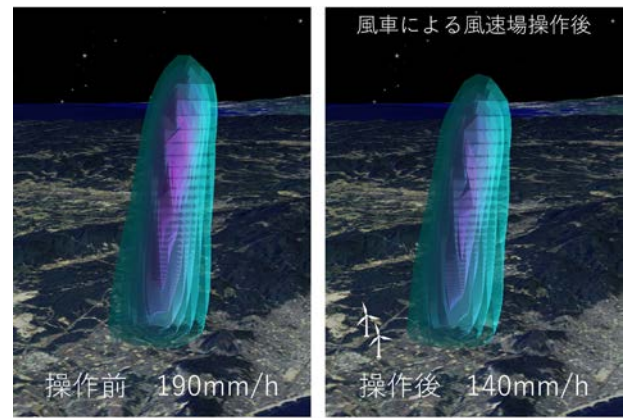


図7 風速場操作によるゲリラ豪雨の強度抑制シミュレーション

大きく影響していて、人類が自然に対してやり過ぎてきた結果のしっぺ返しではないかと考えます。これを解決すべき責務は人類にあり、地球という惑星の“自然の懐”の中で生きているという意味を深く考究する必要があります。

そこで、豪雨防災のための新たな取り組みとして、豪雨の発生・発達過程に介入することによって豪雨の強度や発生頻度を抑制するための研究開発を進めています（図6）。我々が目指している制御は、豪雨を自由自在に操るような制御ではありません。日本には森羅万象に神を感じる古来の考え方があり、雨に対しても、雨乞いや晴れ乞いといった祈りの風習や神話が伝えられてきています。自然や豪雨に対して畏敬の念を抱きつつも、将来強まる豪雨から大災害の発生を抑えるため、どうしても必要なときの切り札として発動する制御だと考えています。すわなち、自然の懐の範囲で豪雨を“治める”ことを目指します。ここに、「豪雨を鎮める」ための技術として豪雨制御を位置づけたい、そのような思いで取り組んでいます。図7は2008年都賀川のゲリラ豪雨事例に対して、風速場操作によって豪雨のピーク強度を27%抑制できる可能性を示したシミュレーション結果です。今後、操作デバイス開発や現地実験を踏まえて、2050年の実現を目指しています。

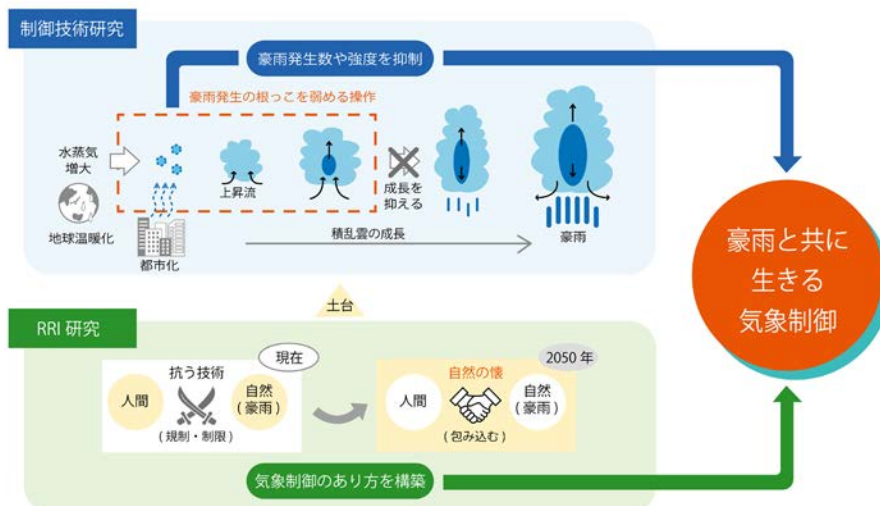


図6 豪雨制御研究の全体像

地表・海底地盤・地下空間に至る地盤・岩盤工学課題への挑戦

都市社会工学専攻 ジオマネジメント工学講座
ジオフロントシステム工学分野
教授 安原 英明
准教授 岩井 裕正
助教 宮崎 祐輔

都市空間や地表の環境保全・有効利用のため、3次元的な視点から新しい空間として地下空間（ジオフロント）の利用が注目されています。環境に配慮した地下空間の創造・保全・維持管理のためには、地表から海底地盤、地下深部に至るまでの地盤・岩盤の力学的、水理学的特性を解明する研究とそれに伴う先端計測技術の開発、両者を組み合わせた熱、水、力学、化学の複雑系の問題についての教育・研究が不可欠です。以下に最新の研究事例を紹介します。

熱、水、力学、化学の複合環境における地下岩盤のモデル化に関する研究

本研究では、地下岩盤の複雑な挙動を理解し、予測可能なモデルを構築することを目的としています。地下岩盤は、地球の深部に存在する岩石の集合体であり、その物理的、化学的、力学的、および水理学的特性は、地下資源の利用や環境保全、さらには地盤災害の予防において重要な役割を果たします。この研究では、特に地下岩盤が熱、水、力学的負荷、および化学的環境の複合変化にどのように反応するかを明らかにすることを目指しています。

地下空間の利用例としては、放射性廃棄物の安全な地層処分、効率的な地熱発電、二酸化炭素の捕捉および地下貯留（CCUS）などがあります。これらのアプリケーションは、地下岩盤の持続可能な利用を前提としており、そのためには岩盤の長期的な安定性と挙動を正確に理解する必要があります。

本研究では、岩盤の力学および透水特性に関する室内実験を実施しています。透水試験では、様々な温度、圧力条件で岩石サンプルを通過する水の量（流量）を測定し、岩盤の透水性を評価します。また、水圧破碎実験では、岩石サンプルに高圧の水を注入し、その応力下での岩石の破壊挙動を観察します（図1）。これらの実験データは、岩盤の物理的特性とその反応メカニズムの理解を深めるための基礎となります。さらに、これらの実験結果を基に、岩盤の挙動を再現し予測するための数値シミュレーションモデルを開発しています。このモデルは、岩盤の多孔質構造、異方性、非線形応答などの複雑な特性を考慮し、実際の地下環境における岩盤の挙動をシミュレートすることが可能です。モデルの精度を向上させるために、複数の物理的プロセスを統合し、岩盤が熱、水、力学的負荷、および化学的環境の変化にどのように相互作用するかを表現することが重要です。最近ではAIを用いたモデル開発にも着手しており、数値シミュレーションの高速化にも取り組んでいます。

この研究の応用は多岐にわたります。例えば、地層処分事業では、放射性廃棄物の漏洩を防ぐために岩盤の長期堅牢性が必須ですが、その評価のためには、熱・水・力学・化学の相互作用現象を予め精緻

に把握しておく必要があります（図2）。また、CCUSプロジェクトでは、二酸化炭素を地下深くに注入し長期間にわたって安全に貯留することが求められますが、その成功は地下岩盤の透水性や力学的安定性に大きく依存します。また、地熱発電においては、地熱貯留層の温度分布や流体の流れの正確な理解が必要とされます（図3）。このような地下資源の開発と利用は、岩盤の挙動を正確に予測し管理することで、より効率的かつ安全に行うことが可能となります。

最終的に、本研究は、地下岩盤の複雑なシステムをより深く理解し、地球科学、地質工学、環境科学といった分野における学術的な進歩に寄与することを目指しています。また、地下空間の持続可能な利用に向けた技術的な基盤を提供し、地盤災害のリスク軽減や環境保全の取り組みにも貢献することが期待されています。

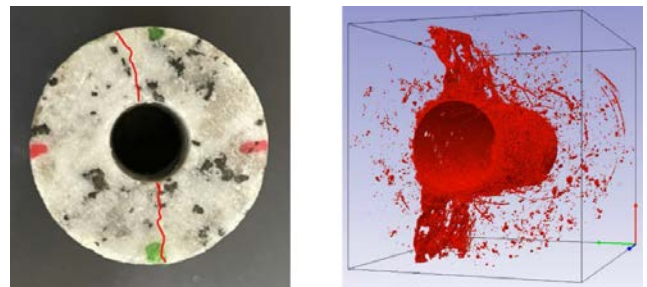


図1 水圧破碎実験後の岩石サンプル（左：生成した亀裂を赤色で強調）とX線CTにより抽出した亀裂の3次元分布（右）

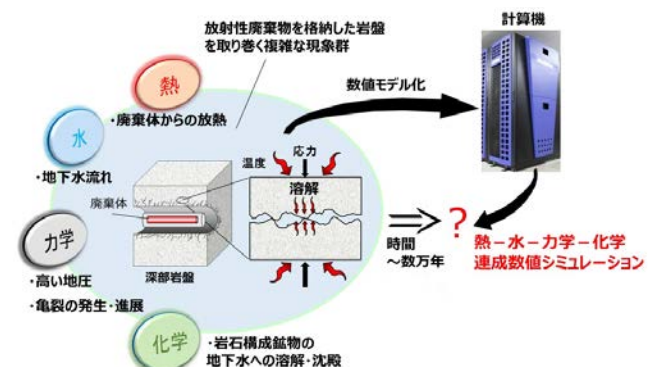


図2 放射性廃棄物地層処分における岩盤の連成現象と数値シミュレーション

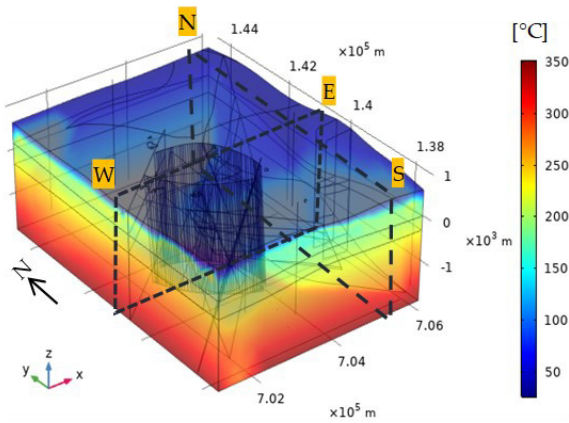


図3 連成数値シミュレーションを用いた地熱貯留層の温度解析

海底地盤工学

日本を取り囲む広大で豊かな海洋環境は、海洋資源、エネルギー、環境施策の観点から産業利用のポテンシャルが高い一方で、海溝型地震、津波、台風災害などの海洋が関連した自然災害の脅威に常にさらされていることも事実であります。こうした海洋環境（とりわけ海底地盤）に潜在する、工学的利用価値と海底地盤災害のリスクの両側面に着目し、研究を進めております。

海底地盤を対象とした CCS

例えば、大気放出される CO₂ の正味量をマイナスにするネガティブエミッション技術の一つとして大

きな期待を寄せられているのが、“CO₂ ハイドレート海底地盤貯留”です。CO₂ を低温・高圧の海底地盤に圧入すると、周囲の冷たい海水と反応してハイドレート（固体）を容易に形成する。これにより、CO₂ がガスまたは液体の状態で放出されることを防ぎ、海底地盤中に安定的に封じ込めることが可能となります。その際、CO₂ ハイドレートが海底地盤内でどのように生成され、その生成領域がどのように拡大していくのかについて明らかにすることは、高効率な CO₂ ハイドレート海底地盤貯留を達成するために重要な検討事項となります。本研究では、海底地盤の低温かつ高圧な環境を再現可能な力学試験装置を用いて、CO₂ ハイドレート生成形態と海底地盤の力学挙動との関係を明らかにするとともに、得られた実験結果に基づいて、海底地盤の強度変形特性を表現することが可能な構成式の開発を行っています。

(図4)

海底地盤災害 ~海底地すべりと津波励起現象~

海底地盤災害の観点では、例えば、2024年1月1日に発生した「令和6年能登半島地震」では、震源から離れた富山市沿岸部において、地震からわずか3分後に津波が観測されており、震源付近とは別に海底地すべりによる津波発生源が存在していた可能性があります。また、30年以内に高確率で発生することが危惧されている南海トラフ巨大地震においても、沿岸地域に到達する津波規模の予測は、防災計画

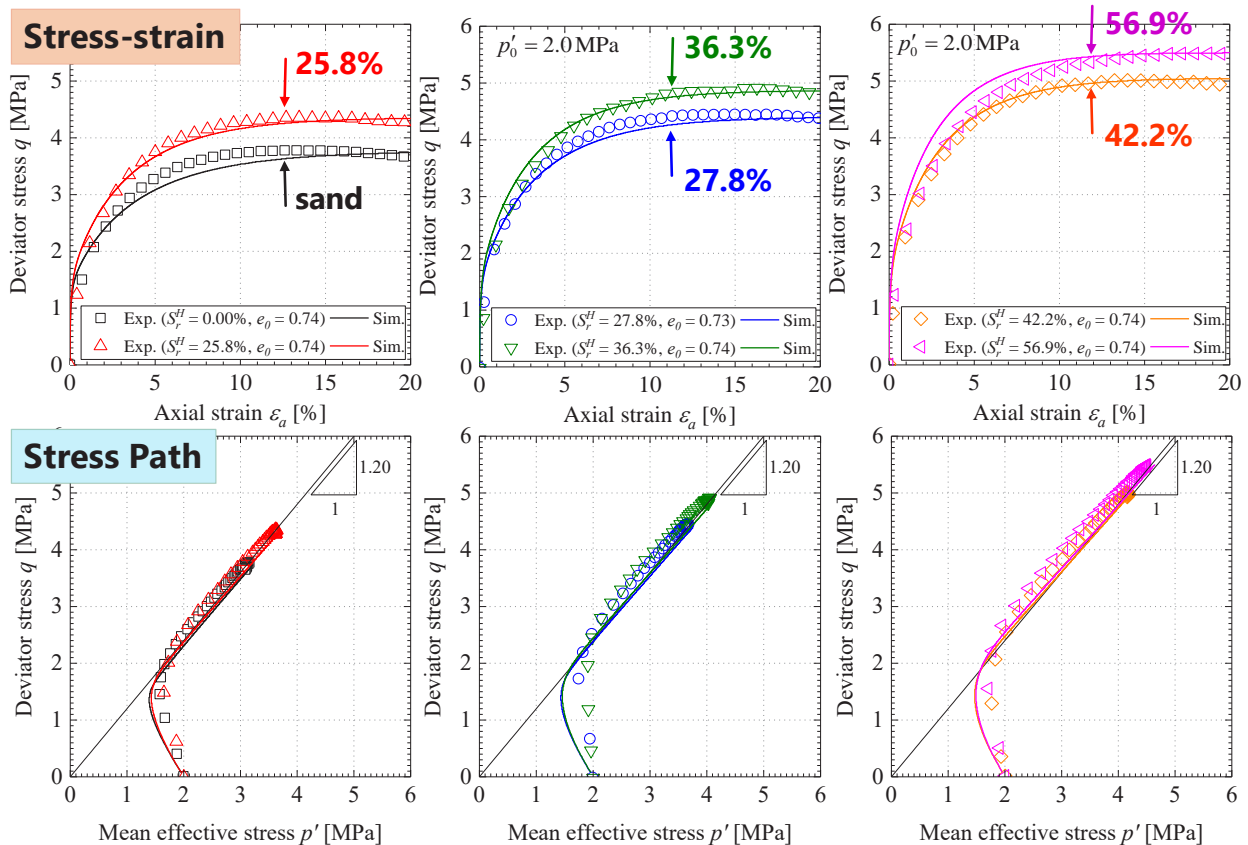


図4 CO₂ ハイドレート含有地盤の非排水三軸圧縮試験結果（シンボル）と構成式による計算結果（実線）の比較

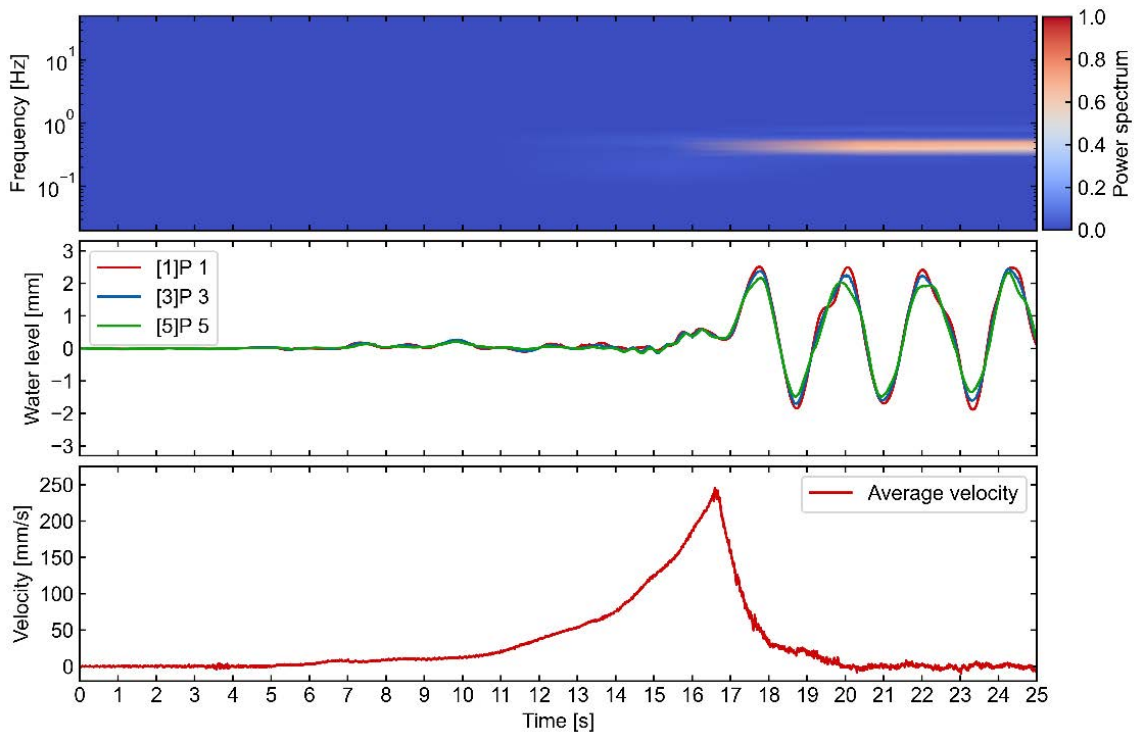


図5 地すべり速度・変位と励起される津波振幅との関係；特に地すべり速度（最下図）が大きく加速し後に停止する瞬間に大きな津波振幅が観察される（中段図）

の最重要課題となっておりますが、海底地すべりによってどのように津波規模が増幅されるのかは未だに予測困難であるという状況です。

海底地すべりによって励起される津波の規模は、地すべり運動と強い相関があると考えられていますが、地すべり土塊の運動と津波の関係について体系的に取り扱った研究例は少ないのが現状です。そこで、本研究では、特に「海底地すべり土塊の運動の変化が津波規模に大きな影響を持つ」という点に着眼し、海底地すべり運動と励起される津波規模との関係について室内模型実験による検討を行っています。（図5）

地中構造物の地震時追従性に関する研究

日本においては、限られた平野部において経済的に高速道路を建設するために、道路盛土が採用されることが多いです。道路盛土が造成される場合、地域の交通分断を防ぐために、アンダーパスを道路盛土に設置することが不可欠です。このアンダーパス構造における地震時挙動が本研究の主題です。このアンダーパス構造の耐震性は、1995年兵庫県南部地震における被害事例をきっかけに、世界中で研究が進められました。しかし、世界中で展開されている研究の主眼はアンダーパス構造の強度に置かれており、道路盛土全体系における耐震性はあまり注目されていません。この道路盛土全体系における耐震性の関心

の低さが、日本国内の過去の地震において、多数の供用性の喪失をもたらしています。2004年新潟中越地震、2011年東北太平洋沖地震、さらには2016年熊本地震に至るまで、繰り返しアンダーパスの日開き被害が報告されています。いずれの被害も基礎地盤における地質的、地形的特徴が重要な要因と考えられています。

そこで、本研究ではどのような地質的、地形的特徴がアンダーパスの供用性を損なうか、という問いを立てます。そして、地震時に周辺地盤との追従性を失い、供用性を損なうかを明らかにします。実際に、液状化層を基礎地盤としたアンダーパスの地震時挙動を模型実験（図6）と数値解析（図7）によりシミュレーションしています。その結果、アンダーパスの直下で特異的な液状化の進行が起きることがわかりました。すなわち、アンダーパスの存在が基礎地盤の変状に寄与している可能性が示唆されました。このように、道路盛土全体系の挙動を評価することで、



図6 液状化地盤上におけるボックスカルバートの目開き再現実験

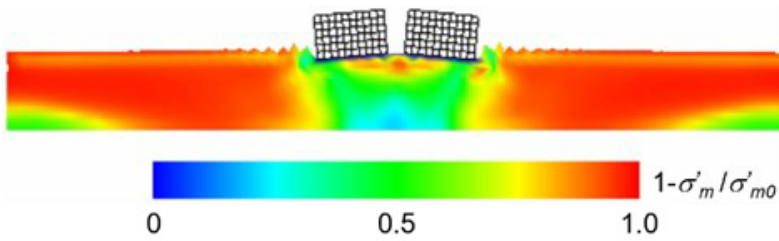


図7 二次元弾塑性有限要素法による液状化地盤上におけるボックスカルバートの動的解析

実際の被害が生じるメカニズムを解明し、対策工を通じて災害を防ぐことを目指しています。

以上の研究成果や他のテーマの情報は、研究室ウェブサイト <https://obvious-jam-671.notion.site/e56c7268ecb74df0b8cc6265c2f80bb1> をご覧下さい。

地球資源システムにかかわる 地殻の物性・応力・変動の解明

都市社会工学専攻 地球資源学講座 地球資源システム分野

教授 林 為人
講師 石塚 師也
助教 神谷 奈々

地球資源システム研究室では、地球科学および地球工学的側面からのアプローチにより、資源分野の多岐にわたる様々なテーマに取り組んでいます。今回は、当研究室における最新の研究内容をご紹介します。

岩石の物理的な性質に関する研究

「岩石物性」という言葉をご存じでしょうか？岩石物性とは言葉の通り、岩石の物理的な性質のことです。岩石は鉱物の集合体であり、鉱物組成ひいては化学組成という化学的な性質で評価できますが、実は、物理的な性質でも特徴づけることができます。岩石物性の基本的な項目としては、岩石の密度、岩石に含まれる隙間に関する指標である空隙率、波の伝わりやすさの指標である弾性波速度、電気の伝わりやすさの指標である電気伝導率、熱の伝わりやすさの指標である熱伝導率、水の通しやすさの指標である浸透率などが挙げられる他、一軸圧縮強度や引張強度といった岩石の強度に関する指標があります。資源工学の分野では、地下の物性を調べることで地下構造を把握し、資源の有無を探索するなど、目では見えない地下深くの調査に応用されています。

本研究室では、特に堆積軟岩と呼ばれる岩石に着目し、岩石物性から岩石の生成に関する情報を読み解く研究を行っています。海底に碎屑物が堆積し、堆積物が埋没・固結することで堆積岩が生成されます。堆積物が堆積岩に変化する過程では、主に上からの圧力（上載圧）によって押し固められますが、日本列島のような沈み込み型のプレート境界では、横から圧縮する力（側方応力）も作用しています。このような力の作用が堆積岩にどのような影響を及ぼすのかについて明らかにすべく、物性測定や力学試験を行っています(図1)。岩石物性の方向の特徴(異方性)を詳細に調べたところ、堆積軟岩は堆積時の層構造に関連した物性異方性だけではなく、過去の側方応力に起因する異方性も有していることを示唆する結果が得られました。今後は、堆積岩生成過程の時間軸に対応した物性変化の詳細を明らかにする

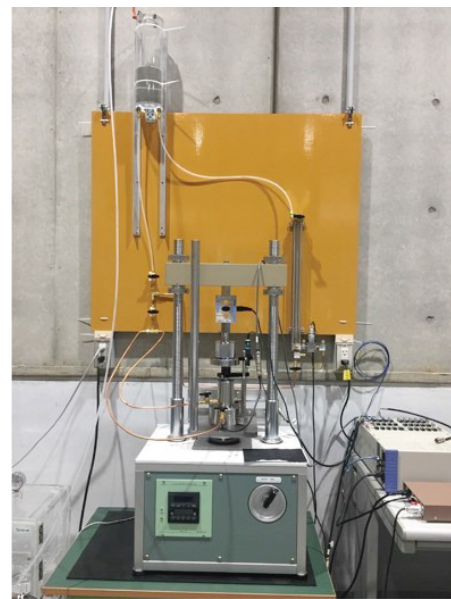


図1 力学試験である圧密試験を行うための試験機

ことで、複雑な応力場でどのように堆積岩が形成されるのかについて解き明かしたいと考えています。

掘削データおよび岩石試料を用いた応力と物性の研究

地下エネルギー資源を開発する地球工学ならびに巨大な自然災害を起こす地震・火山などのメカニズムを解明する地球科学の分野において、地殻運動の原動力である応力の状態や地下深部の地層を構成する岩石や岩盤の物理的性質を知ることが重要です。しかし一方で、地下深部の応力や物性は基本的に遠隔で測定することができず、正確な定量評価を行うために、地下深部にアクセスしなければなりません。その唯一の手段は、ボーリングとも呼ばれる掘削で



図2 海洋科学掘削船（左：『ちきゅう』、右：『JOIDES Resolution (JR)』）

す。従って、本研究室では多様な海洋科学掘削ならびに陸上科学掘削に参加して、掘削から得られる原位置岩盤の検層データや岩石試料を用いて、原位置応力計測と物理特性解明の研究を行っています。

日本列島は4枚の巨大なプレートの境界である複数の沈み込み帯に位置しており、2011年の東北日本太平洋沖地震は海底下にあるプレート境界断層で発生しましたように、周辺海域において海溝型地震が繰り返し発生しています。海底下の断層特性の解明に必要な海洋科学掘削は、国際深海科学掘削計画 (IODP) という国際プログラムの下で推進されています。わが国は地球深部探査船『ちきゅう』を、米国は『JOIDES Resolution (JR)』という掘削船 (図2) をIODPの掘削プラットフォームとして提供し、世界中の海域にて掘削を行っています。本研究室の博士課程大学院生1名は2023年12月～2024年2月の第401次研究航海 (JR) に参加し、地殻流体の流動特性に関する研究を、もう1名は2024年6月～8月の第403次研究航海 (JR) に乗船して地殻応力などの研究を行う予定です。さらに、本研究室の教員2名はそれぞれ2024年9月～12月の前半と後半に、『ちきゅう』による第405次研究航海、東北日本太平洋沖地震の震源断層である太平洋プレートと北米プレートの境界断層を掘りぬく掘削航海に乗船する予定です。地震発生の約13年後に、地震時に完全解放された応力の再蓄積が始まったか否かの解明にチャレンジします。

地熱システムのモデル化と状態・物性推定

地熱資源は、我が国に多く存在していると考えられるエネルギー資源で、二酸化炭素の排出量が少なく、安定した出力が可能のため、さらなる活用が期待されています。地熱資源のさらなる活用のために重要と言われている要素が、地下の地熱システムをモデル化する技術です。地熱システムのモデル化を適切に行うことによって、地熱資源の有望域の効果的な選定や地熱システムの特徴の理解の深化をする

ことができます。さらに、近年注目されている超臨界地熱資源は、より深部に胚胎する高温の熱水資源を対象とするため、ポテンシャルを評価する新たな手法が求められています。

手法を開発するにあたり、(i) これまでの地熱資源の開発や様々な地球科学的なプロジェクトのために取得された様々な観測データがあり、これらの種々の観測データを統合して活用することや (ii) 観測データには表れない地球工学的な知見を組み込むことにより、地熱システムのモデル化を行えることに着目しました。これらの点は、従来用いられてきた数値シミュレーション技術よりも機械学習が得意とするところで、機械学習を応用することにより、より少ない仮定で地下のモデル化を可能とすることが期待されます。

本研究室では、多種のデータを活用する手法 (i) として、ベイズ理論を応用した手法を開発しました。ベイズ理論は、種々の観測データや物理的な理論背景に含まれる誤差を伝播し、推定したい値を得るフレームワークを持っており、この理論を用いることで、各種データに固有の誤差や理論の不確実性を考慮して、地熱システムの温度等の状態量や浸透率などの物性値を推定することができます。開発した手法は、岩手県葛根田地域の温度・空隙率または塩濃度の分布を推定し、従来知られている地熱システムよりも深部に超臨界地熱資源と考えられる深部熱水システムの存在を示唆しました (図3)。

さらに、地球工学的な知見を組み込む手法 (ii) として、深層ニューラルネットワークに地熱システムを構成する物理法則や地質学的先験情報を学習させる手法を開発し、研究を進めています。坑井で得られた観測データに加えて、熱輸送や熱水流動の方程式や存在し得る地下構造を学習させた深層ニューラルネットワークを構築することで、坑井での観測値が限られている地下深部でもより蓋然性の高い温度や圧力等の状態のモデル化を可能としました。開発した手法は、日本の地熱地域への適用を進めています。

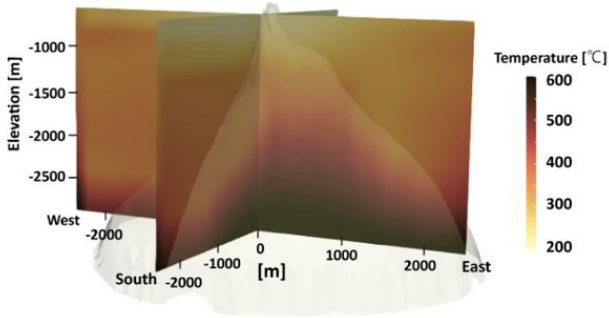


図3 種々の観測データを統合して推定された葛根田地熱地域深部の温度分布。半透明の面は、当該地域の熱源と考えられている花崗岩体の上面深度の分布を表す。(Ishitsuka et al., 2022; Geothermics に一部加筆)

人工衛星データを用いた地表変動量の推定と地下のモニタリング

地球資源の開発や地震・火山・地すべり等の自然現象に伴う地表面や地殻の変形は至るところで起きています。このような地表や地殻の変形を把握することで地球資源の効果的なモニタリングが可能となり、また自然災害への理解を促進することができます。そのため、地球資源の持続的な利用や国土強靱化において、これらの変形現象のモニタリングは重要です。近年、人工衛星に搭載したレーダの観測データを用いて地表変動量を高精度かつ時空間的に密に計測できるようになりつつあり、さらに地表変動か

ら地殻の変形をより詳細に理解できるようになってきました。本研究室では、より多様な条件で高精度に地表変動量を推定する解析手法を開発するとともに、地表変動を基にした地殻や帯水層の状態や物性変化の把握を行っています。

これまでの成果としては、2016年熊本地震前後の熊本平野および2018年大阪北部地震前後の京都盆地・大阪平野の時系列地表変動の推定と、地下水システムとの関連についての研究があります。ミリメートル精度で地表変動を推定したところ、両地域ともに地震後に震源断層の地表変動とは異なる位置で、ミリメートルからセンチメートルの単位で隆起や沈下などの地表変動が見られました(図4)。推定した地表変動は地下水位の変化と整合的であり、地表変動は、地震によって帯水層構造および物性が変化した結果を表しており、地震に伴う地下水帯水層の変化を理解するために有効であることが示唆されました。このように人工衛星から推定した地表変動は、空間分布も得られているため、空間的な位置や規模がより詳細に得られることも大きな利点と言えます。

また、新たな解析手法として深層学習を使ったレーダ画像のノイズ低減手法を開発し、様々な条件でより高精度な地表変動の推定を可能とするとともに、ドローンにレーダを搭載した機動的な観測システムの開発も行っています。ドローンに搭載したレーダは、対象に応じて適切なレーダ入射角を設定できる点に利点を持ち、人工衛星搭載レーダでは、地形のために計測が難しい鉱山残壁のモニタリング等への有効性を検証しています。

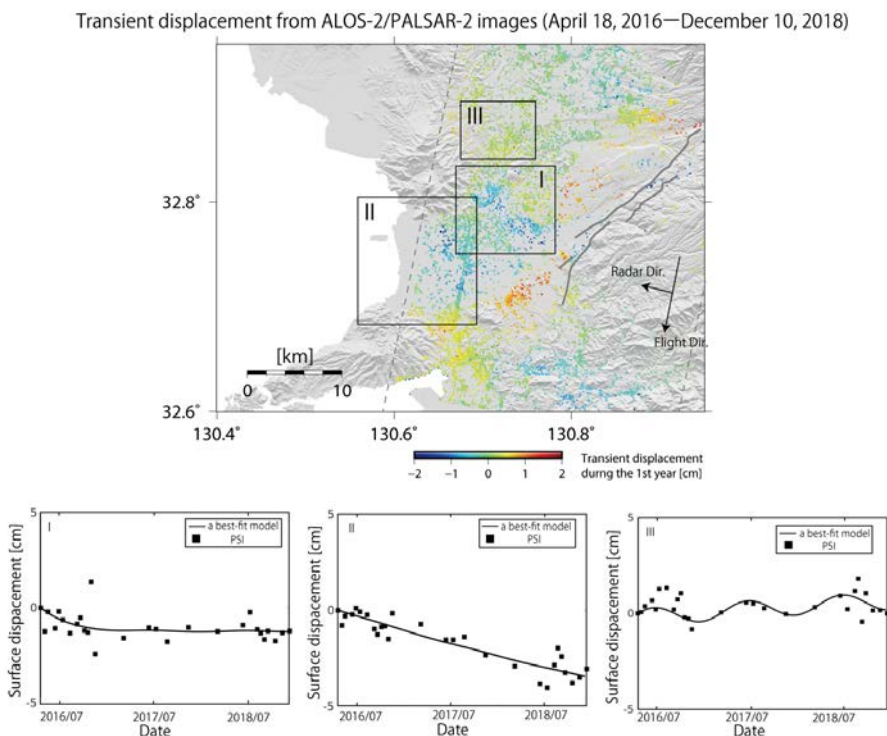


図4 人工衛星搭載 SAR のデータを用いて推定した2016年熊本地震後の熊本地域の地表変動分布と時系列地表変動の例。灰色の実線は、震源断層が地表に現れた箇所を表す。(Ishitsuka et al., 2020; Earth, Planets and Space に一部加筆)

スタッフ紹介

中谷 加奈 (なかたに かな)

社会基盤工学専攻 防災研究所 砂防工学分野 教授



中谷加奈先生は、令和5年4月に京都大学大学院農学研究科から着任されました。山地保全学や砂防学、森林科学、防災工学がご専門で、山間部から発生する水・土砂の流出、土石流や流木などの土砂災害のメカニズム、防災対策に関する研究を数値シミュレーションや水理実験、調査、観

測をもとに日々取り組んでおられます。

研究室でのゼミではもちろん、それ以外の時も頻

繁に学生部屋にも顔を出してくださり、丁寧にアドバイスをくださいます。また、研究活動以外の面でも、昼食や休憩時間を学生とともに過ごすことも多く、美味しいコーヒーやお菓子を差し入れてくださるなど、和気あいあいとした楽しい雰囲気を作ってくさっています。

さらに、中谷先生はヴァイオリンが上手で、宇治キャンパスでの演奏を予定されるなど、学生一同聴きに行くのを楽しみにしています。

私を含め、まもなく卒業する学生の大半は、就職先でも砂防や防災に関わる仕事をする予定ですので、今後とも変わらぬご指導をいただければと思います。

(修士課程2年 片岡 秀太)

【略 歴】

2005年3月 京都大学農学部森林科学科卒業
2007年3月 京都大学大学院農学研究科森林科学専攻
修士課程修了
2009年4月 日本学術振興会特別研究員
2010年3月 京都大学大学院農学研究科森林科学専攻
博士後期課程修了

2011年3月 京都大学大学院農学研究科 助教
2022年8月 京都大学大学院農学研究科 准教授
2023年4月 京都大学防災研究所 教授

久保 大樹 (くぼ たいき)

都市社会工学専攻 地球資源学講座 地殻環境工学分野 助教



久保大樹先生は、数理地質学に基づいた空間分布モデリングやリモートセンシング技術を応用した非破壊・非接触測定システムの開発をはじめ、地球工学に関する幅広い研究に取り組まれています。最新の機器や他分野からの技術を積極的に取り入れ、類いまれな想像力で先進的な研究を展開

されています。

研究室ゼミでは日本語・英語問わず、多くの助言やアイデアを下さり、自身の研究の進展および他の学生の研究についての理解をより深める助けとなっています。また日頃から学生一人ひとりのことを気にかけて声をかけてくださり、その幅広い知識に基づいた、研究へのご助言から装置の使用方法のご教授まで、学生一同大変お世話になっております。

先生と共に研究に携わっていただけることを学生一同大変光栄に感じます。今後とも、研究・学生生活と多岐にわたる変わらぬご指導をよろしくお願い致します。
(博士後期課程1年 岸本 将英)

【略 歴】

平成21年3月 熊本大学工学部 環境システム工学科
(土木コース) 卒業
平成23年3月 熊本大学大学院 自然科学研究科 複合
新領域科学専攻 博士前期課程 修了
平成23年4月 京都大学大学院 工学研究科 都市社会
工学専攻 博士後期課程 編入学

平成27年3月 同課程所定の研究指導認定退学
令和2年1月 京都大学大学院 工学研究科 論文博士
(工学) 取得
令和2年2月 京都大学大学院 工学研究科 都市社会
工学専攻 助教
現在に至る

院生の広場

院生紹介

久岡 勇登 (構沿岸都市設計学分野・修士課程2年)

私が所属する沿岸都市設計学分野では、粒子法に基づくCFD解析手法のモデル開発を行っており、いかに実際の流体の動きをシミュレーションで精度良く再現できるかを重視する高精度モデルの開発と、そのような高精度な粒子法モデルの海岸工学の諸問題への適用性を検討する応用的なシミュレーションの実施を行っています。現在、私は人工リーフに高波浪が作用する場合の三次元数値解析を行い、高波浪が人工リーフ上の被覆ブロックに作用する際の運動予測やその力学的な機構を数値的に検討しています。人工リーフに関する現象では、波が崩れて大きく変形する砕波が頻発することに加え、人工リーフの変形・崩壊の際には固体(ブロックや捨石)が水中を動くことから実験での詳細な計測や既往の数値計算手法での再現が困難を極めます。そのような現象にこそ大変形や固液混相流を比較的容

易に扱える粒子法の利点が生かされます。

その他、当研究室では流体解析のみならず、土砂変形や構造物の変形、果ては人流の解析に至るまで幅広く計算対象として扱っており、粒子法の世界最先端のモデル開発の中心を担っておられる先生方のもとでの研究は勉強になることばかりだと実感している今日この頃です。



杉本 遼哉 (社会基盤創造工学分野・修士課程年2年)



私の所属する社会基盤創造工学分野では、橋梁の振動情報をもとに構造物の健全性をモニタリングする研究を行っており、応用数学(時系列解析・機械学習・最適化問題)や信号処理、構造力学など分野横断的な観点から検討を

行っています。その中でも私は、橋梁への外力である交通荷重を、橋梁に設置したセンサから推定するBWIMに関する研究をしています。推定された交通荷重データは、交通分析・橋梁舗装の設計・デジタルツインへの入力と活用が多岐に渡りますが、複数車両が橋梁上にある場合に高い精度を確保できていないのが現状です。私の研究は、最適化問題の工夫により推定精度を向上させるとともに、さらにBWIM理論を橋梁異常検知に拡張する新たな可能性を模索しています。

また、本研究室は海外研究者と共同研究が多いことも特徴で、私は昨年度BWIM分野の研究者のもとで共同研究させていただきため、ノルウェーに10日程短期派遣する機会をいただきました。英語でのディスカッションや前提共有には四苦八苦しましたが、グローバルな課題に取り組んでいるという実感と英語で議論できたという自信を得られたことは非常に有意義な経験となりました。今後もグローバルな研究活動に取り組みたいと思います。

菅生 賢 (計画マネジメント論分野・修士課程1年)

私の所属している計画マネジメント論研究室では、土木計画学という広い分野で、各々が現場とのコミュニケーションを重視して、研究しています。私の研究は桜島噴火に向けて、住民と専門家と行政が互いに協力して噴火から生き残る避難体制を構築する研究を行っています。具体的には、3か月に一度のペースで鹿児島市八幡校区にて桜島防災WS(ワークショップ)を開催し、住民の方々とリスクコミュニケーションを実施しています。

私は今年度、WS内の多くの方が「噴火被害のイメージが出来ない」と悩んでいたのをきっかけに、大西先生と相談してインドネシアにあるスメル火山(2021年12月に噴火)に被害の調査に行かせて頂きました。現地住民の方にインタビューを行い、被害跡なども見学させていただきました。今まで空想のように感じていた噴火被害ですが、「この方が、この場所で、こんなことを考えながら、被災された」

というのを知ると、一気に被害のイメージを掴むことができ、自分がこの経験を住民の方々に伝える必要があると心から思いました。また、日本とは全く違う文化に触れ、向こうの学生と沢山のコミュニケーションを取れたことは自身の成長に繋がったと思います。



東西南北

受賞

<p>小林 知生 (社会基盤工学専攻修士課程 2年) 須崎 純一 (社会基盤工学専攻 教授) 繁森 央一 (住友商事) 大庭 哲治 (社会基盤工学専攻 准教授) 石井 順恵 (社会基盤工学専攻 助教) Marek Ososinsk (株式会社タダノ)</p>	<p>第48回 土木情報学シンポジウム優秀発表賞 「クレーン周辺の三次元地図作成における視差画像統合手法の検討」</p>
<p>寺西 由夏 (社会基盤工学専攻修士課程 2年) 須崎 純一 (社会基盤工学専攻 教授) 大庭 哲治 (社会基盤工学専攻 准教授) 石井 順恵 (社会基盤工学専攻 助教) 久田 裕史 (西日本高速道路株式会社)</p>	<p>第48回 土木情報学シンポジウム優秀発表賞 「SAR 画像シミュレータの開発とその応用」</p>
<p>岡田 典也 (社会基盤工学専攻修士課程 1年) 須崎 純一 (社会基盤工学専攻 教授) 石井 順恵 (社会基盤工学専攻 助教) 大庭 哲治 (社会基盤工学専攻 准教授)</p>	<p>日本写真測量学会 令和5年度 秋季学術講演会優秀論文賞 「RPC モデルを活用したマッチングに基づくステレオ衛星画像からの DSM 作成」</p>
<p>松木 謙太 (社会基盤工学専攻修士課程 2年)</p>	<p>2023年度土木学会 海岸工学論文奨励賞 「高潮・高波同時生起実験に基づく越波量に及ぼす潮位変動の影響の検討」</p>
<p>松本 知将 (社会基盤工学専攻博士後期課程 2年)</p>	<p>土木学会水工学委員会 令和4年 水工学論文奨励賞 「植生群落近傍の渦構造・浮遊砂堆積に与える植生剛性の影響に関する実験的研究」</p>
<p>普神 素良 (社会基盤工学専攻修士課程 2年)</p>	<p>水文・水資源学会／日本水文科学会 2023年度研究発表会 優秀発表賞 「鉛直準二次元地表・地中流モデルの開発」</p>
<p>荒井 智裕 (都市社会工学専攻修士課程 1年)</p>	<p>土木学会 2023年度関西土木工学交流発表会 優秀学術発表賞 (ポスター発表) 「鉛直準二次元飽和不飽和流モデルに対する反復解法の検討」</p>
<p>清水 裕真 (社会基盤工学専攻 助教) Khayyer Abbas (社会基盤工学専攻 准教授) 後藤 仁志 (社会基盤工学専攻 教授) 杉本 寛明 (東京建物株式会社)</p>	<p>2023年度 土木学会海岸工学論文賞 「δ-SPH 法による水面波の高精度計算のための改良型圧力勾配項の提案」</p>
<p>田崎 拓海 (社会基盤工学専攻 助教)</p>	<p>令和5年度 海岸工学論文奨励賞 「3D-DEM-MPS 法による孤立遡上波下の砂連形成機構の検討」</p>
<p>友松 広大 (都市社会工学専攻修士課程 2年)</p>	<p>2023年度 資源・素材関係学協会合同秋季大会若手優秀講演賞 「泥質岩における熱伝導率の堆積層理面に対する異方性」</p>
<p>小田 一輝 (都市社会工学専攻修士課程 2年) 南野 仁 (都市社会工学専攻修士課程 1年) 前田 拓人 (都市社会工学専攻修士課程 1年)</p>	<p>建設コンサルタンツ協会近畿支部 第56回 研究発表会 学生発表部門奨励賞 「河川堤防における侵食過程の把握と対応策の検討」</p>
<p>Nyora Donald Kobare (都市社会工学専攻博士課程 1年)</p>	<p>資源・素材学会関西支部 第20回 若手研究者・学生のための研究発表会・優秀発表賞 「Geochemical approach to the constraints and evolution of geothermal fluids in the Kiejo Mbaka half-graben geothermal prospect (Southwest Tanzania)」</p>
<p>川嶋 芳明 (都市社会工学専攻修士課程 2年)</p>	<p>資源・素材学会関西支部 第20回 若手研究者・学生のための研究発表会・優秀発表賞 「京都盆地における下温度分布推定の高精化に向けた計算条件の最適化」</p>
<p>Shen Jie (都市社会工学専攻博士課程 3年)</p>	<p>令和5年度 土木学会全国大会 第78回 年次学術講演会優秀講演者 「A Multi-Layer Thermal Coupled Hysteretic Model for High Damping Rubber Bearings at Low Temperature」</p>
<p>Shen Jie (都市社会工学専攻博士課程 3年)</p>	<p>第16回 日本地震工学シンポジウム優秀発表賞 「A Multi-Layer Therm-Mechanical Coupling Model for High Damping Rubber Bearings at Low Temperature」</p>

新聞掲載、TV 出演等

上田 恭平 (社会基盤工学専攻 准教授)	2024年1月11日 毎日放送：よんチャンTV 「信号機が背の高さになぜ液状化？」 2024年1月16日 毎日放送：よんチャンTV 「深刻・液状化現象」 2024年1月31日 公明新聞 「能登半島地震あす1カ月 液状化被害」
高橋 良和 (社会基盤工学専攻 教授)	2023年11月25日 日本テレビ：世界一受けたい授業 「世界で活躍スゴい働く乗り物図鑑」 2023年12月3日 京都新聞：市民版 「土木から知る京のまち」 2023年12月19日 KBS ラジオ：笑福亭晃瓶のほっかほかラジオ 「土木構造物を街角で市民に伝える「どぼくカフェ」について」 2024年2月号 日経コンストラクション 「2024年能登半島地震「烏川大橋で支承がずれる」」
竹林 洋史 (社会基盤工学専攻 准教授)	2023年9月6日 北海道放送・今日ドキッ！ 「胆振東部地震で発生した厚真町の土砂災害の特徴と対策」 2023年9月15日 関西テレビ・news ランナー 「綾部市篠田町で発生した土砂災害の特徴と対策」 2024年1月31日 朝日新聞 「輪島市市ノ瀬町で発生した土石流の流動特性」

人事異動

日付	名前	異動内容	所属
2023年10月1日	田崎 拓海	採用	社会基盤工学専攻 助教 (水工学講座水理環境ダイナミクス分野)
2023年12月1日	宮田 秀介	転出	社会基盤工学専攻 准教授 (防災研究所流域災害研究センター流域圏観測研究領域 防災工学講座砂防工学分野)
2024年1月1日	小林 和弥	採用	社会基盤工学専攻 助教 (資源工学講座計測評価工学分野)

大学院入試情報

社会基盤工学専攻と都市社会工学専攻は、「社会基盤・都市社会系」という一つの入試区分として一括募集を行います。工学研究科の入学試験に関するホームページおよび二専攻のホームページもご参照ください。

■令和5年度(2024年2月実施)入試情報(結果)

令和6年2月13日(火)・14日(水)に実施されました入試の合格者数は以下の通りです。

修士課程：外国人留学生6名

博士後期課程：

第2次(2024年4月期入学)22名(うち、一般学力選考8名、社会人特別選考8名、論文草稿選考2名、HSE外国人留学生特別選考4名)、(2024年10月期入学)1名(HSE外国人留学生特別選考1名)

専攻カレンダー

3月25日	学位授与式
4月5日	入学式
4月8日	前期講義開講
6月18日	創立記念日
7月23日～8月5日	前期試験期間
8月6日～9月30日	夏季休業期間

編集後記

記事を執筆頂いた方および本ニュースレター発行にご協力頂いた方に感謝を申し上げます。引き続き、本ニュースレターをよろしくお願い致します。

記：松中 亮治