

水環境・大気環境に関する研究

香川大学創造工学部 環境デザイン工学領域 教授 石塚 正秀

連絡先 ishizuka.masahide@kagawa-u.ac.jp



私の研究室では、水や大気に含まれるさまざまな物質とその動態に着目して研究を行っています。

水環境に関しては、瀬戸内海に流れ込む河川水に含まれるマクロ・マイクロプラスチック等を対象として、AI（人工知能）・データサイエンスを用いた画像解析や赤外線を使った分析を行なっています。また、GIS（地理情報システム）や降雨流出モデルを使って、雨が降った後の水の動きの数値シミュレーションを行い、水害や水資源について研究しています。また、最近では、過去を再現した気象のビックデータや過去データのデジタルアーカイブも進んでおり、とくに近世以降の環境や災害について、調査を行っています。

大気環境に関しては、モンゴルのゴビ砂漠から発生する黄砂やPM_{2.5}などの大気浮遊物質、森林から放出されるキノコ孢子などのバイオエアロゾルや孢子に含まれる放射性セシウムを対象としています。これらの物質は、生態系や気候、人の健康などの公衆衛生に影響するため、どれだけの量がいつどのように発生し、移動するのかを明らかにすることが重要です。

水や大気中を移動する物質は、自然に発生するものもありますが、人が原因で発生するものもあります。また、降水や風、砂漠の土壌などの自然物も、社会活動に伴う地球温暖化による地球環境の変化といった人為的な要因による影響を受けています。つまり、水・大気環境の研究は、「自然科学的要素」と「社会科学的要素」の両面を有しています。

環境の研究は、方程式を解いて唯一つの解が得られるというものではありません。その時その瞬間に生じている現象は二度と再現することはできません。だからこそ、現地データを計測することがとても重要になります。また、ビックデータを利用して、多角的に現象をみる目も重要です。分からない現象に対して、なぜそうなっているのだろうかと考えを巡らすことが、難しいところでもあり、楽しみ・醍醐味でもあります。

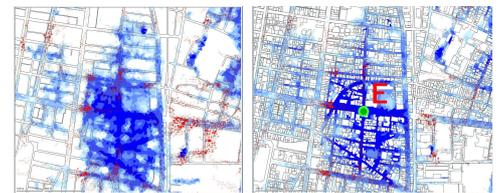
環境や災害の問題への対策は、後手に回ることが多くあります。しかし、そうならないためにも、今、何が起きているのかを理解し、そして、将来起こりうるリスクと持続性を考えて、今、何をすればよいのかについて、学生や市民の皆さんと一緒に考えながら、研究・教育を行っていきたくと考えています。



河川におけるマイクロプラスチック調査



AIを使った河川を流れるペットボトルの自動判定



(a) 建物なし (b) 建物あり

建物の有無による浸水深の分布の比較シミュレーション



筑波実験植物園におけるキノコ孢子の

野外計測



モンゴルゴビ砂漠における黄砂と気象の

観測

ため池の空き容量を活用した流出低減効果の検討

香川大学創造工学部環境デザイン工学領域 教授 角道 弘文

連絡先 kakudo.hirofumi@kagawa-u.ac.jp



1. はじめに

2018年7月の西日本豪雨では西日本を中心に甚大な被害が発生するなど、生命や財産を脅かすような深刻な水被害が各地で多発している。豪雨対策として、河川と流域の両面から水害の軽減・防止を図る総合的な治水対策の必要性が指摘されており、ため池の空き容量を活用した治水対策が期待されている。本研究では、T池（高松市、貯水容量176万 m^3 ）を対象に、必要な農業用水の確保を前提とした空き容量を設定し、その空き容量を保持するための運用ラインを考案した。過去のデータをもとに運用シミュレーションを行い、本方式による流出低減効果について検証した。

2. 研究方法

2-1 データ

貯水池の水収支計算に必要なデータは貯水量 $V(t)$ 、流入量 $Q_{in}(t)$ 、配水量 $Q_{re}(t)$ である。自己集水域からの流入量の推定は日降水量データより2段タンクモデルで行った。タンクモデルに必要な蒸発散量はソーンズウェイト法により推定した。配水量の推定は土地改良区の配水計画表、日降水量をもとに行った。計算対象年は、異常渇水年であった1994年、県下に豪雨被害をもたらした2004年、2018年を含む1985～2018年とした。

2-2 空き容量の設定

計算対象年の要貯水量を日単位で求めた。要貯水量とは、当該日より灌漑期末日まで過不足なく配水を行える貯水量を指す。求められた各年の要貯水量の日別の最大値を抽出し、それらを近似して得られた直線を運用ラインとした（Fig.-1）。運用ラインより上方が出水時の流出を調整する空き容量となる。

2-3 シミュレーションケース

運用ラインに基づく管理（ケースA）の有効性を検証するため、実管理に準拠した管理（ケースR）との比較を行った。運用ラインに沿った管理を行うため、ケースAでは無降雨日にユル（取水施設）の施設容量を上限とした調整放流を行う操作条件とした。

3. 研究結果

ケースAでは、本来なら水位が高く保たれている灌漑期上旬に発生した2018年の西日本豪雨でも、空き容量を活用して流入量の

100%を調整することができることが分かった（Fig.-1）。また、灌漑期間中に日降水量27.5mm以上となった日（218日）を対象に、各ケースにおける流出調整割合の相対頻度をみると、ケースAでは、対象流出のすべてが空き容量によって補足されることが分かった（Fig.-2）。

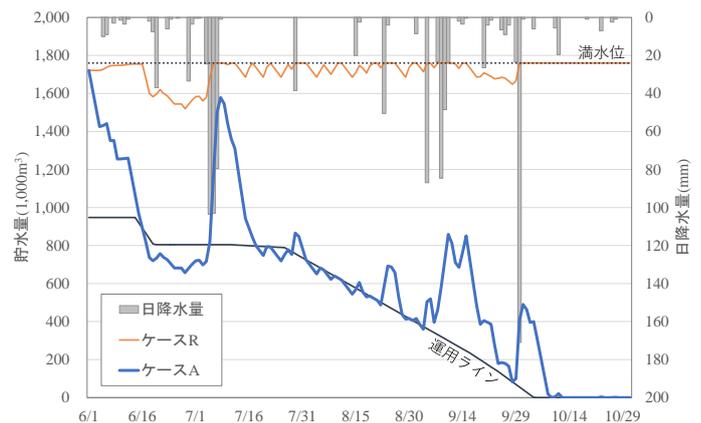


Fig.-1 シミュレーション結果（2018年）

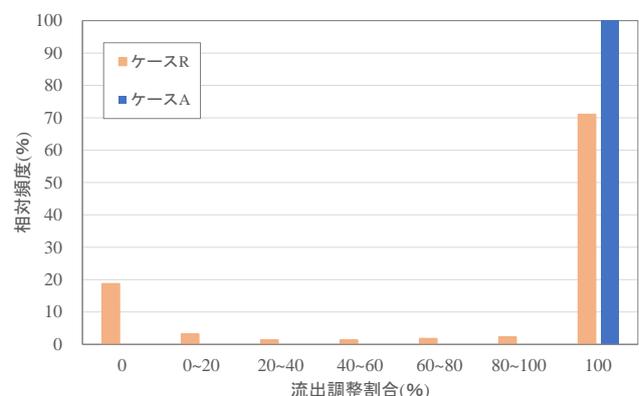


Fig.-2 流出調整割合の比較

土地利用交通シミュレーションモデルを用いた交通政策評価

香川大学創造工学部 環境デザイン領域 教授 紀伊 雅敦

連絡先 kii.masanobu@kagawa-u.ac.jp



当研究室では土地利用・交通マイクロシミュレーション技術を用いた都市・交通政策評価に取り組んでいます。多くの地方都市では、自動車利用の増加、都市の郊外化、人口減少が進展し、公共交通の維持が困難となっています。一方、高齢化は公共交通サービスのニーズを高めますが、需要が空間的に分散しているとサービス供給は困難となります。本研究では、2050年までの人口変化を想定し、現在高松市が取り組んでいる公共交通ネットワークの再編効果をシミュレーションモデルにより分析しました。その際、都市のコンパクト化が進むシナリオについても併せて分析しました。この研究はミュンヘン工科大学の Rolf Moeckel 教授との共同研究として実施しています。

図1は現況の人口分布と2050年の予測結果を示しています。これより都心部の人口密度が低下する一方で、郊外部で低密に居住する地域が増加していることがわかります。これは、現在の住宅地や商業地の郊外化が続く想定に基づいています。

図2は2050年に公共交通ネットワークを再編した場合の乗車人数変化を、土地利用が郊外化するケースと、コンパクト化するケースについて示しています。新たに設定されるループ状のバス路線で旅客の増加が見込まれますが、郊外路線では旅客が減少すると見込まれます。一方、コンパクト化では郊外拠点周辺にも人口が集積する想定となっており、一部の郊外路線で乗客の増加が推計されています。

なお、鉄道・バスを含む平均乗車率は2010年には13.2人と推計されていますが、路線再編を行わない場合、2050年の郊外化ケースでは7.0人、コンパクト化ケースでは6.5人と推計されています。路線再編によりそれぞれ

8.1人、7.8人になると推計されていますが、人口減少に伴い、公共交通の利用者が大幅に減少すると推計されています。自動車を運転できなくても出かけられる都市とするには、公共交通のさらなる再編と、人々の住まい方についても再考が必要なことをこれらの結果は示唆しています。

併せて、自動車からのCO₂排出量についても推定しています。公共交通が便利になれば、モーダルシフトによりCO₂が削減されると期待されていますが、本研究の推計ではその削減効果は1%に満たないと推計されています。2010年と比較して、2050年には人口減少により27%、コンパクト化が進むと13%、自動車技術の進展により30%減少すると推測され、併せて70%ほどの排出削減を推計しています。しかし、カーボンニュートラルとするためには、さらなる追加削減が求められます。

詳細については下記文献をご参照ください。

Kii, M.; Goda, Y.; Tamaki, T.; Suzuki, T. Evaluating Public Transit Reforms for Shrinking and Aging Populations: The Case of Takamatsu, Japan. *Future Transp.* 2021, 1, 486-504. <https://doi.org/10.3390/futuretransp1030026>

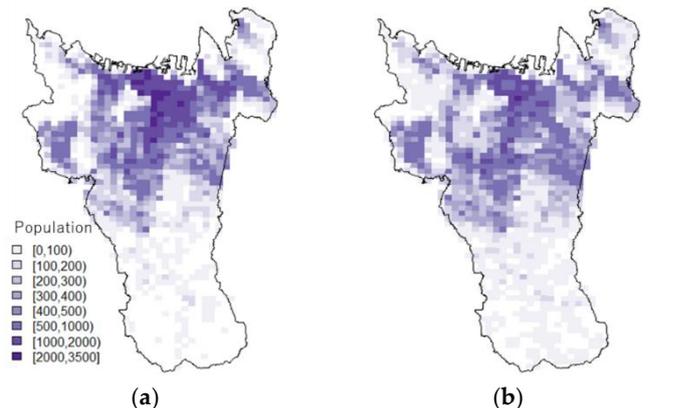


図1 人口分布(左: 現況, 右: 2050年予測)

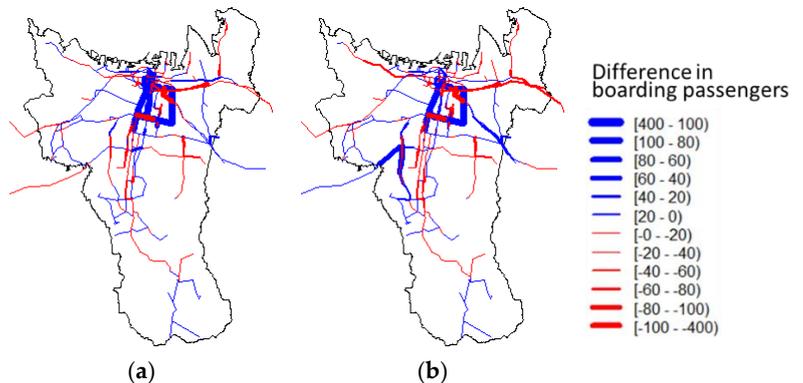


図2 2050年公共交通の利用者数変化(左: 郊外化, 右: コンパクト)

水産資源生産力および水圏環境改善システムの開発

香川大学創造工学部 環境デザイン工学領域 教授 末永 慶寛

連絡先 suenaga.yoshihiro@kagawa-u.ac.jp



1. 研究の目的

これまで困難とされていた、従来の魚礁構造物には無い流動制御機能を持つ水産資源増殖構造物を開発すると共に、産業副産物のリサイクルによる多孔質構造を持つ生物親和性の高い基質を対象海域に設置し、海水の流動環境制御、底質環境改善、餌料環境改善および藻場造成技術を開発することにより、人工種苗放流海域における稚魚の育成環境を整え、放流後の水産資源への添加率向上を目指す。

2. 研究の概要

自然エネルギー（潮流）の流動制御機能の定量化

流動制御機能により発生した渦は、従来の直立壁構造物では、構造物高さの約 10 倍程度後方まで確認されているが、本構造物では、**高さの約 20 倍程度**後方まで発生可能となる。これは、本構造物(図 1)の形状特性により、下流側へ形成される渦の軸方向と流れの主流方向が平行な位置関係になり、3 次元的に影響範囲を広げる。構造物により制御された流動場は、湧昇流の発生に伴い、底層の高濃度の栄養塩を上層に巻き上げ植物プランクトンから小型魚類に渡る**食物連鎖を活性化**させる。同時に、稚魚の好適な餌場、隠れ場を提供すると共に(図 2)、海水の鉛直混合も促進され底層に酸素を供給し、半閉鎖性の内湾域で頻発する**貧酸素化も抑制**する。これにより、従来の人工魚礁では困難であった**水質・底質環境の改善機能**も現地観測により実証した(図 3)。



図 1 構造物形状



図 2 放流稚魚の保護・育成機能

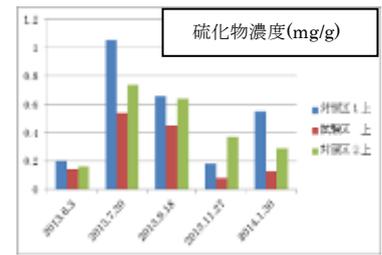


図 3 底質改善機能の検証

3. 成果の活用

- ・流動制御機能により、目詰まりの抑制、既存基質の数倍～数十倍の餌料増殖機能を持つ。
- ・単体ブロック設置工事に比べ作業効率が高く、工期を 1/3 以上短縮させ、経済性を実証。
- ・鉛直混合促進に伴う水質・底質改善を実現。河川、湖沼等の他水域にも適用可能。
- ・構造物上に浮泥が溜まりにくく海藻胞子の着生を促進し、良好な生物保護育成場を提供。
- ・産業副産物の有効利用によるCO₂排出抑制、窒素除去等の環境負荷低減効果が高い。
- ・水産のみならず、建設業、二次製品製造業、鉄鋼業、コンサルタント業等への業務拡大。
- ・水産資源生産力向上、安定した漁業生産による漁業振興への貢献大。

4. 関連する事業採用実績、受賞歴、特許、等

- ・農林水産省、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業に採択(H24-H26 年度)
- ・実用化に伴い、瀬戸内海、日本海、大阪湾等における水産基盤整備事業等で採用
- ・文部科学大臣表彰科学技術賞（技術部門：H19、開発部門：H29、理解増進部門：H31）受賞
- ・PACON International, Service Award (2008), Ocean Service Award (2014) 受賞
- ・発明の名称：浮体動揺抑制装置および生簀、末永慶寛，他 12 名，特許第 6156906 号，2017。
- ・発明の名称：人工魚礁，末永慶寛，他 4 名，特許第 5704558 号，2015。
- ・発明の名称：機能性多孔質体，末永慶寛，他 3 名，特許第 5754045 号，2015。

瀬戸内海沿岸域における津波堆積物の探索

香川大学創造工学部 環境デザイン工学領域 教授 寺林 優

連絡先: terabayashi.masaru@kagawa-u.ac.jp



1. 研究背景と目的

南海トラフ地震の今後 30 年以内の発生確率は 70~80% と高く、最大マグニチュード 9 程度が予測されている。瀬戸内海沿岸域にも津波が襲来し、香川県沿岸の最高津波高は約 2 m、地盤沈降量と朔望平均満潮位を合わせた最高津波水位は 4 m 弱に達すると想定されている。過去の南海トラフ地震では、1707 年宝永地震では、香川県東部で高さ 2 m 弱の津波が襲来したことが古文書「讃州府誌」に記述され、愛媛県西条市の神社跡にも津波被害が伝承されている。1361 年正平地震については、香川県中部の丸亀市の田潮神社の名称は津波が由来という伝承がある。

このように南海トラフ地震で発生した津波は、過去に何度も瀬戸内海沿岸域に襲来し、今後も看過できないにもかかわらず、鳴門海峡および明石海峡以西の播磨灘、備讃瀬戸、燧灘に面する瀬戸内海沿岸域は、津波堆積物研究の空白地帯であり、播磨灘沿岸での調査研究に着手した (図 1)。

2. 調査地域と研究方法

播磨灘に面する香川県東かがわ市引田地区の埋め立てられた沿岸湖沼(どま池)とかつての後背湿地を調査地域に選定した (図 2)。自走式ボーリングマシン (エコプローブ EP-26 および EP-10) で、合計 10 本のコアを掘削した。半裁したボーリングコアの肉眼観察、高知大学海洋コア総合研究センターの X 線 CT スキャナー (キャノンメディカルシステムズ社・Aquilion PRIME/Focus Edition) で撮影し、画像処理ソフトウェア (ニュートン・グラフィックス社・0siriX) を用いて X 線 CT 画像を作成し、層相の変化、砂粒子の含有の確認を行った。試料中の植物片を過酸化水素水で除去した後の粒度分析を新潟大学災害・復興科学研究所の粒度分析装置 (Malvern Panalytical 社・マスターサイザー 3000) で行った。イオウ濃度分析を新潟大学のイオウ濃度分析装置 (堀場製作所社・EMIA-120) で行った。放射性炭素年代測定は、(株) 加速器分析研究所に依頼して行った。さらに、湖水環境の変化を明らかにするための珪藻分析を行った。

3. 研究結果と展望

引田地区の沿岸湖および海岸低地における研究から、イベント堆積物の存在と湖水環境の変化、さらにそれらの年代が明らかになりつつある。今後も研究を継続していく。



図 1. 南海地震、東南海地震、東海地震の想定震源域、岡村らによる津波堆積物の主な調査地 (●)、本研究による調査地域 (○)

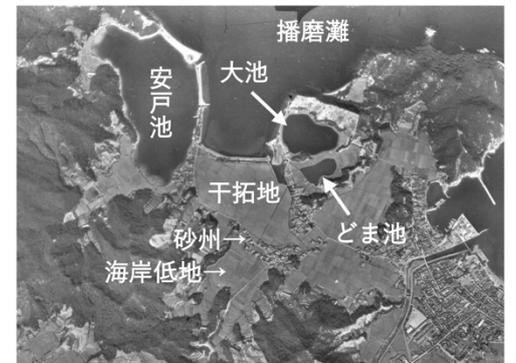


図 2. 香川県東かがわ市引田地区の戦前空中写真。

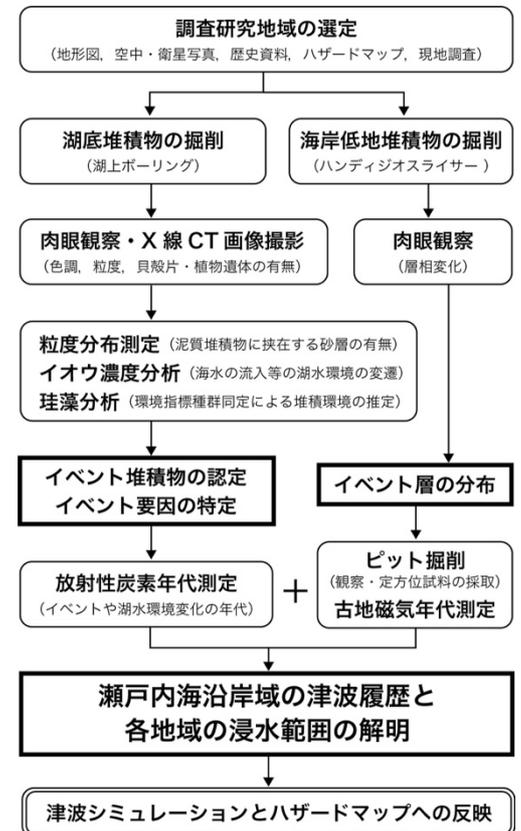


図 3. 本研究の研究計画

近世城郭石垣の力学的安定性の解明

香川大学創造工学部環境デザイン工学領域 教授 山中 稔
連絡先 yamanaka.minoru@kagawa-u.ac.jp



1. 研究の背景と目的

戦国時代から江戸時代初期にかけて全国各地に築造された近世城郭石垣は、老朽化の進展と近年の自然災害の多発により、崩壊事例が多発している。2018年7月と9月の豪雨により丸亀城南西部の石垣が大きく崩壊したことは記憶に新しく、現在、石垣修復工事が現在急ピッチで進められている。

文化財石垣の修復工事では、その価値である「歴史の証拠」の保全を前提としつつ、もう一方の価値である「安定した構造体」としての性質を保持し、双方をいかに統一的に伝承するのかが技術的課題となっている。城郭石垣に代表される文化財石垣の修復工事では、「安定した構造体」を後世に継承するためには、文化財保護の観点から原型復旧すべきとする意見と、安全性確保のためは現代工法の導入やむなしとする意見との、相反する意見の狭間で具体的修理方法が模索されている。

現代工法であるアンカー工や地盤改良工等の適用を避けた上で力学的安定性を確保するためには、その前提条件となる伝統工法で構築された石垣の力学的安定性を定量的に評価する必要がある。すなわち、石垣の修理方法を決定するためには、まずは、石垣が有するせん断抵抗力や背面盛土からの主働土圧への抵抗力を評価する必要がある。

本研究では、2018年7月と9月の豪雨による丸亀城石垣の崩壊事例をもとに、これまで明らかにされていなかった城郭石垣が有するせん断抵抗力および土圧抵抗力を、FEM解析により解明するものである。この解明によって、丸亀城石垣の豪雨による崩壊メカニズムがより確認できるとともに、石垣構造物としての各部位が有する力学的安定効果を定量化でき、さらには石垣復旧工事における石垣石や裏込め栗石層の構築方法への的確な情報提供が可能となる。

2. 数値解析による城郭石垣の力学的安定性評価

丸亀城南西部の地質断面図を参考に FEM 解析モデル作成した。自重による石垣変形挙動について検討するため、強度減少法を用いた斜面安定解析を行った。強度減少法は斜面の破壊条件を扱うため非線形弾塑性解析であり、構成則はモール・クーロン式である。FEM 解析に用いる物性値（石垣の変形係数 E 、栗石・間詰部の変形係数 E 、粘着力 c 等）について、既往研究を参考にある幅を持って設定し、実際の変形崩壊事例と照合することで妥当な値について検討した。

解析結果の一例として、変位ベクトル図を図-2 に示す。背面盛土の変位ベクトルは小さいが、石垣の下部が大きくはらみ出す形状となっている。栗石の粘着力が小さい場合では、石垣が全体にたわんで背面からの力を受け止めるように変形し、栗石層の粘着力が高い場合には、石垣と盛土が前方へ押し出されるように変形することが明らかとなった。

現在、解析モデルや入力値を変化させ実際の変形挙動と対比させるとともに、地下水位と変形量との関係について検討しているところである。

3. 貴重な文化財である城郭石垣の保全と復旧に向けて

文化財石垣の修復においては、石垣の本質的価値を後世に伝えるために、伝統工法を基本に考え、現代工法の適用は控えなければならない。土木工学、地盤工学の研究者に課せられた役割は大きい。

本研究の成果は、丸亀城石垣だけでなく我が国の近世城郭の石垣安定性評価手法として活用が可能で、社会的有用性の高い解析手法となり得ると考えている。

丸亀城石垣の修復においては、地元大学の研究者として積極的に関わっていききたい。

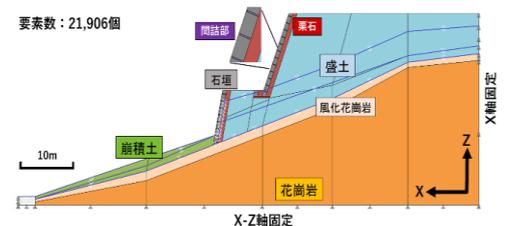


図-1 FEM 解析モデル図

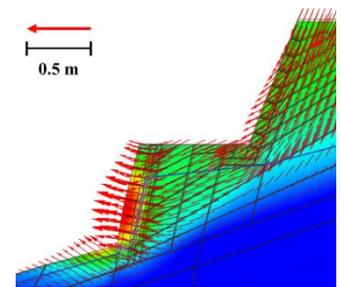


図-2 変位ベクトル図



丸亀城石垣修復現場の前で研究室学生と

魚骨由来の吸着材による重金属や放射性物質の吸着に関する研究

香川大学創造工学部環境デザイン工学領域 教授 吉田 秀典

連絡先 yoshida.hidenori@kagawa-u.ac.jp



(1) 研究背景

近年、豊洲の土壌汚染など、重金属による環境汚染が問題になっている。重金属による環境汚染は人体に対して非常に有害である。例えば、ヒ素は気管支炎や肝臓癌、六価クロムは皮膚癌や肺癌、水銀は腎障害などを引き起こす。このような重金属を環境中から取り除くことが急務である。また、2011年の東京電力福島第一発電所のインシデントにおいては、多くの放射性物質が広い範囲にわたって拡散し、依然として除染されていない森林等が広範囲に存在する他、除染された汚染土壌についても、依然として減容化が進んでいない。こうした課題の解決に向け、再資源材料である魚骨由来の吸着材（Fishbone Absorber, 以降 FbA と称する）に関して、重金属や放射性物質の吸着特性について検討を行っている。

(2) FbAについて

本研究で用いる吸着材 FbA は魚骨の焼成によって作られ、リン酸カルシウムの一種である（右写真参照）。漁業などで廃棄処分される魚骨を再利用したもので、製造においては煮沸、焼成など、単純な作業工程より製作され、安価で大量生産が見込める。さらに、人工骨や人工歯根など医療面で用いられていることから、環境面においても安全性は高い。



(3) 研究目的

本研究では、土壌や地下水を汚染している重金属や放射性物質の除去を念頭に置いた上で、その基本的な吸着性能を把握することを主目的としている。

(4) 実験・分析手法

1. 円筒容器に蒸留水 300mL を投入する。
2. カドミウム、亜鉛、鉛、ニッケル、マンガン、鉄、塩化水銀（II）、ニクロム酸カリウム硝酸溶液、および三酸二ヒ素・塩化ナトリウム・塩酸酸性溶液をそれぞれ 10mL、また、塩化セシウム水溶液、炭酸ストロンチウム硝酸溶液を 5mL 添加する。試料は別々の容器に添加して、別々に実験を行う。
3. 市販の水切りネットに FbA 10 欠片（約 6.0g）を投入し、一定期間（7 日間）浸漬させる。
4. 浸漬後、容器から FbA を取り出し、溶液を ICP-AES（Cs のみ AAS）を用いて分析する。

(5) 実験結果

実験では、浸漬を始めて 7 日後の蒸留水に含まれるイオンの残存濃度（図 1）、pH（図 2）について分析を行った。試験結果は残存率にて示す。FbA による吸着効果を明確にするために、FbA を用いていない供試体（None）を比較材料として用意し、同条件にて実験を行った。図 1 より、None では、ほとんど全てのイオンが残留したが、FbA を用いた場合、残存率が減少していることが分かる。特に、Cd、Pb、Zn、Fe、Sr に関しては、ほとんど全てを吸着している。次に、図 2 より、FbA を用いると全ての供試体で pH が酸性からアルカリ性へと変化していることが分かる。これは FbA に多く含まれる Ca と交換が行われているためと考えられ、最適な吸着には pH の調節等も考える必要がある。

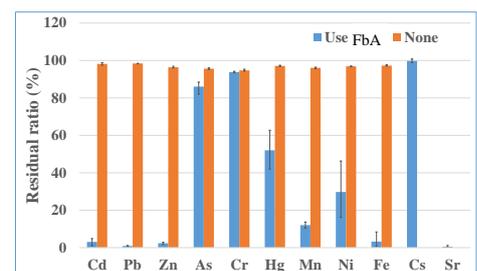


図 1 各イオンの残存率

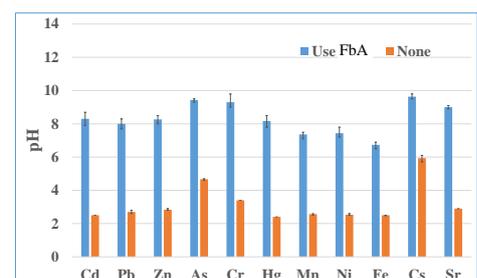


図 2 各検液の試験後の pH

東日本大震災被災地の防災集団移転地における高齢者の孤立化防止に関する研究

香川大学創造工学部 創造工学科 准教授 中島 美登子

連絡先 nakashima.mitoko@kagawa-u.ac.jp



1. 研究の目的と研究方法 (図1, 表1)

本研究では東日本大震災の被災地の一つである岩手県大船渡市のJ, Kの2つの防災集団移転地 (以下, J高台, K高台) を調査対象とする。「元の地区に近接しており, 元のコミュニティもまとまって移転した場合」に該当し地域コミュニティの継続性が高いK高台と, 「元の地区とは離れてしまい, 出身地区が異なる住民が混在している場合」に該当し地域コミュニティの継続性が低いJ高台を対象として取り上げて, 仮設住宅から防災集団移転地への移転の際のコミュニティの継続性の違いが高齢者の交流関係にどのような影響を与えたのか, そして高齢者の孤立化を防ぐためにどのような支援が求められているのかを明らかにする。大船渡市のJ・K高台住宅の住民を対象にアンケート調査, J仮設10名, K仮設17名にインタビューを実施した。

2. 高齢者サポート拠点利用の有無 (表1)

J高台の高齢者は16kmほど離れたS地区に位置するS高齢者サポート拠点を利用しているが, K高台の高齢者は利用していない。

3. 高台住宅内の友人の有無 (図2)

「友人」と呼べる人の有無を尋ねたところ, J高台では男女ともに「いる」と回答した人がいなかったのに対し, K高台では反対に男女問わずすべてが「いる」と回答した。

4. 高台の生活への満足度と交流関係への不満 (図3, 表2)

K高台では高齢者も含めてすべての人が「暮らしやすい」「まあまあ暮らしやすい」と答えたのに対し, J高台におけるその割合は男性で63%、女性では25%であった。どのような点で暮らしにくいと思うかを聞いたところ, 表2に示されるように移転により友人と離れてしまったことや, 集会所や公民館などの交流スペースがないこと, 日常的に頼れる人がいないことなどが特に高齢者を中心に多く挙げられた。

5. 結論

このような交流関係に関する不安や不満は, 公民館や集会所がなく, 地域活動も乏しく, 日常的な交流関係も希薄なJ高台の高齢者にとって深刻な問題となっている。防災集団移転地においても, 高齢者サポート拠点や支援員制度など仮設住宅時代の高齢者支援の社会的資源を有効に活用して, 積極的な高齢者支援を行うことが必要になると考えられる。

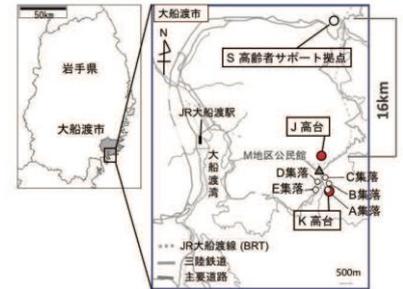


図1. 調査対象の各高台住宅の位置

表1. 調査対象の各高台住宅の概要

地区	R地区	
	J高台	K高台
対象高台		
配置図	Google map	Google map
世帯数	23戸	12戸
入居	2015年3月	2015年2月
公民館	なし	あり(高台住宅内)
自治会	なし	あり
入居者の出身集落別世帯数	B(5戸), C(2戸), D(5戸), E(11戸)	A(12戸)
現在のコミュニティの状態	仮設住宅からの知り合いはいるが, 各戸の宅地を抽選で決められたため隣は知らない人も多く, 隣近所での交流はあまりできていない。	仮設住宅からの知り合いが多く, 近隣の住民同士での交流も活発である。
高齢者サポート拠点の利用	一部の住民の利用あり	なし

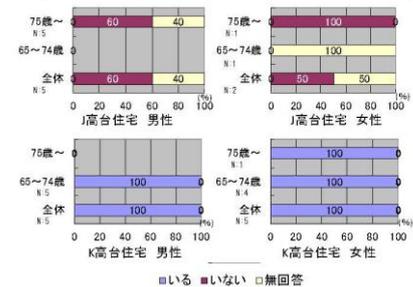


図2. 高台住宅内の友人の有無

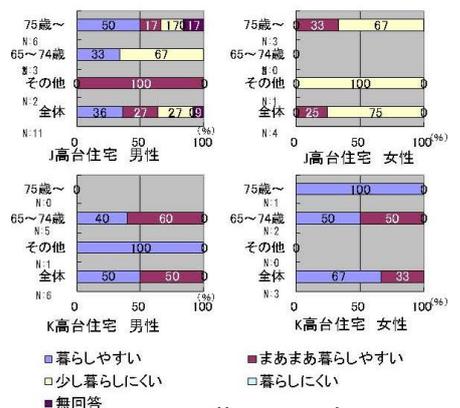


図3. 暮らしやすいか

表2. 暮らしにくい理由

- ・友人が近くにいない
- ・仮設住宅時代の友人が同じ高台住宅にいない
- ・日常のちょっとした手伝い(電球交換や荷下しなど)を頼める人がいない
- ・緊急時に助けを呼べる人がいない

(順不同、複数回答あり)

四国地方における南海トラフ地震発生後の木造建物の被害推定に関する研究

香川大学創造工学部環境デザイン工学領域 准教授 宮本 慎宏

連絡先 miyamoto.mitsuhiro@kagawa-u.ac.jp

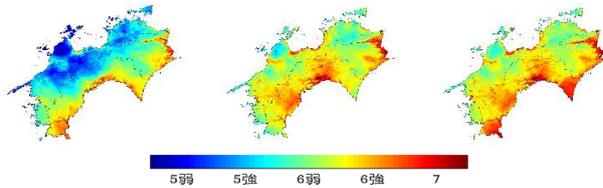


1. はじめに

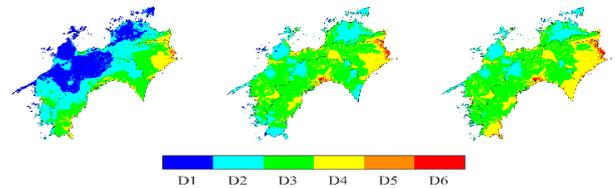
南海トラフ地震は今後 30 年以内に高確率で発生することが予想され、地震発生後の一般的な木造建物の被害を推定することで、四国地域全体の被害をおおよそ把握することができる。木造建物の耐震性を評価する指標の一つとして耐震評点がある。耐震評点は外力に対する保有耐力の安全率に相当し、比較的入手が容易である。そこで本研究では、耐震評点の分布を基に、地域性を反映した損傷度関数を推定し、南海トラフ地震を想定した四国地方の木造建物の被害推定を目的とする。

2. 四国地方の木造建物の被害推定

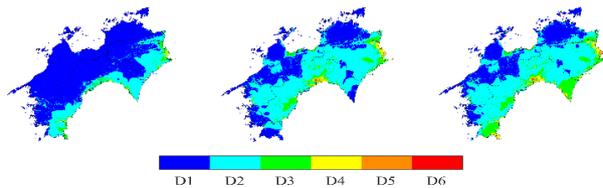
内閣府により公表されている想定震度のうち、基本ケース、陸側ケース、最大クラスの想定震度（図 1）と四国四県の損傷度関数を用いて被害推定を行った。損傷度関数を用いた被害推定（図 2~4）では、耐震評点 I_w が小さいと香川県、高知県の損傷度が相対的に小さく、耐震評点 I_w が大きいと愛媛県、徳島県の損傷度が相対的に小さくなった。各県庁所在地での被害推定（図 5~7） および評点分布より、松山市は $I_w=0.5$ 以上(65%)、高松市は $I_w=0.4$ 以上(72%)、高知市（中部を除く）は $I_w=1.4$ 以上(8%)、徳島市は $I_w=1.0$ 以上(18%)の建物が全壊の危険性が低く、耐震性が確保されている。一方、高知市中部では $I_w=1.0$ 以上でも、半壊以上の被害が推定されたため、耐震補強によるハード対策以外にソフト対策も重要になる。また、上記の耐震性が確保された建物以外は耐震補強が必要であり、松山市は 35%、高松市は 28%、高知市は 92%、徳島市は 82%の建物が該当する。



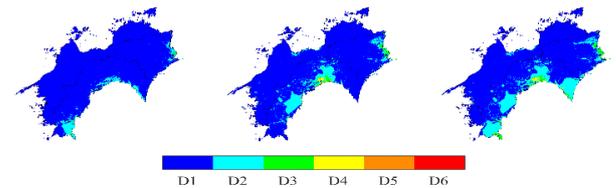
(a) 基本ケース (b) 陸側ケース (c) 最大クラス
図 1 南海トラフ地震の想定震度分布



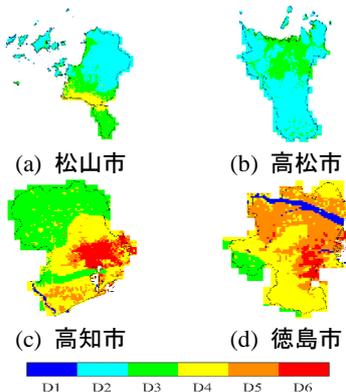
(a) 基本ケース (b) 陸側ケース (c) 最大クラス
図 2 損傷度マップ ($I_w=0.4$)



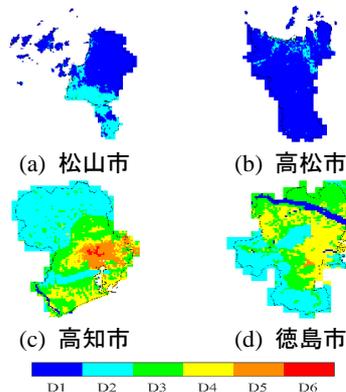
(a) 基本ケース (b) 陸側ケース (c) 最大クラス
図 3 損傷度マップ ($I_w=0.7$)



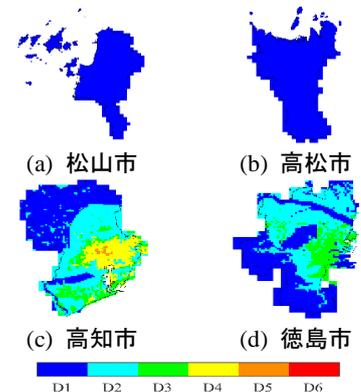
(a) 基本ケース (b) 陸側ケース (c) 最大クラス
図 4 損傷度マップ ($I_w=1.0$)



(a) 松山市 (b) 高松市 (c) 高知市 (d) 徳島市
図 5 最大クラスの損傷度マップ ($I_w=0.4$)



(a) 松山市 (b) 高松市 (c) 高知市 (d) 徳島市
図 6 最大クラスの損傷度マップ ($I_w=0.7$)



(a) 松山市 (b) 高松市 (c) 高知市 (d) 徳島市
図 7 最大クラスの損傷度マップ ($I_w=1.0$)

礫材と高分子補強材を用いた新たな土中抵抗部材の提案

香川大学創造工学部環境デザイン工学領域 講師 荒木 裕行



1. 研究背景

地下に埋設された上水道管等の圧力管の屈曲部には、スラスト力と呼ばれる不平均力が作用します。スラスト力は平常時には周囲の地盤で抵抗されていますが、地震時に地盤が液状化すると地盤の抵抗力は極端に低下するため、管の変位や破損が生じます。スラスト力に対する抵抗力を増す対策としては屈曲部にコンクリートブロックを打設する手法が一般的です。コンクリートブロックは平常時の抵抗を増す効果はあるものの、地盤が液状化した時に抵抗を増す効果はなく、逆に屈曲部に大きな慣性力を生じさせて管を離脱させる一因となる可能性もあります。

2. 提案手法

コンクリートブロックに代わる対策として、礫材を高分子補強材で拘束した構造の土中抵抗部材(蛇籠型受圧体)を用いる手法を提案しています。蛇籠型受圧体を屈曲部の外側地盤に埋設してスラスト力に抵抗するもので、以下のメリットが期待できます。

- 礫材：液状化の抑制・液状化からの回復促進により有効応力を残存させ、抵抗力を確保。
- 礫材を拘束：部材としての強度・剛性を向上。
- 地盤に埋設：打設・養生が不要で工期を短縮。埋設管と剛接しないため、管に作用する慣性力を増大させない。

3. 実験による対策効果の確認

対策効果の確認のため模型実験を実施しました。地盤の過剰間隙水圧比を静的に上げて平常時～液状化を再現し、埋設管模型にスラスト力を载荷した際の埋設管の水平変位と地盤の変形を計測しました。

- 無対策(Case N1)では、過剰間隙水圧比がわずかに高まると埋設管が急激に不安定になった。
- 蛇籠型受圧体を設置したケース(Case A3~C1)では、液状化の程度が高まった状態下での埋設管の変位はいずれのケースでも無対策よりも小さく、変位抑制効果があることが認められる。
- 蛇籠型受圧体の幅を拡大すると、蛇籠の回転挙動と曲げ変形が抑制され、埋設管の安定性が高まる。

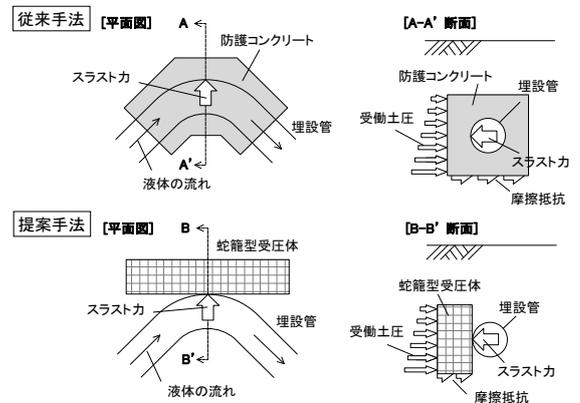


図1 スラスト力防護対策の模式図(従来手法と提案手法)

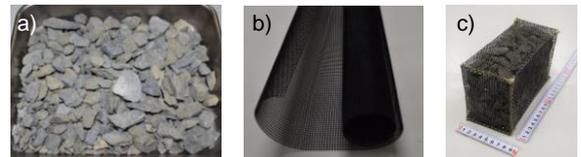


図2 a)中詰材の礫, b)高分子補強材(ジオグリッド), c)蛇籠型受圧体模型

表-1 実験条件

	Geogrid gableon model	
	W [mm]	Layout
Case N1	None	
Case A3	25 (0.5D)	
Case B5	50 (1.0D)	
Case C1	75 (1.5D)	

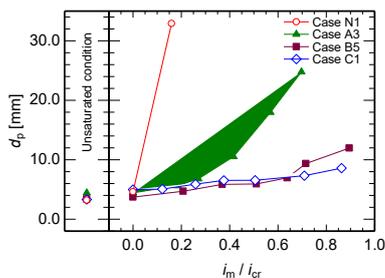


図3 過剰間隙水圧比 (i_m/i_{cr}) と管の変位 (d_p)

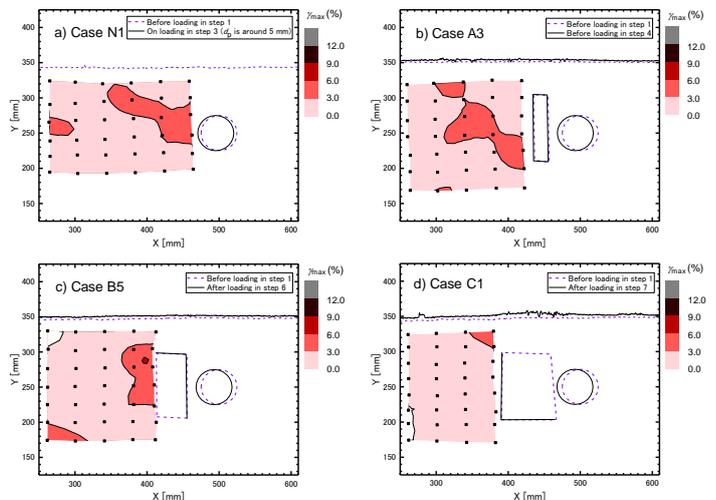


図4 管の変位が同程度の時の地盤のせん断ひずみ分布

「文化的景観」の選定に向けた建造物調査事業における新たな調査手法の提案

香川大学創造工学部環境デザイン工学領域 講師 釜床 美也子

連絡先 kamatoko.miyako@kagawa-u.ac.jp



(1) 研究の背景

文化的景観とは、平成 17 年に施行された、文化財保護法下の新しい文化財保護の枠組みである。具体的には、文化財保護法第二条第 1 項第五号により「地域における人々の生活又は生業及び当該地域の風土により形成された景観地で我が国民の生活又は生業の理解のため欠くことのできないもの」と定義される。その中で特に重要なものは国の「重要文化的景観」に選定され、現在、全国で 65 件、四国で 10 件が選定されている。棚田や里山のような人為的な景観地を保存対象とするのが特徴で、「文化的景観区域」は集落部分だけでなく、里山や里海を含む広範なものになる場合が多い(図 1、2)。我が国の文化財制度ではこれまで歴史的建造物を群として保護する制度は「伝統的建造物群保存地区」があったが、この「文化的景観区域」の中にある歴史的建造物も当地域の生活、生業、風土と関わりの深いものとして保護対象となる例が増えてきた。建築分野からすれば、歴史的建造物が群として保存される新しい枠組みができたとも言え、注目されている。



図1 文化的景観保護制度の流れと保護対象地域のイメージ
(『魅力ある風景を未来へ ―文化的景観の保護制度―』(文化庁)より引用)



図2 里海、集落、里山がすべて景観地として評価された狩浜の文化的景観

(2) 研究の目的

「文化的景観区域」の保存措置は都道府県または市町村が講じるが、その選定前に、各自治体は国の助成を受けてその景観地としての価値づけのための多面的な調査事業を行う。そこでは、当該地域の生活、生業、風土と関連の深い、景観上の重要な構成要素を抽出する。調査対象は地域特性により異なるものの、一般的には歴史、民俗、動植物、地質、地理など多角的な調査を基本とする。当研究の目的は、こうした調査事業における(1)歴史的建造物の景観調査の効率化と、(2)他の分野の調査成果との統合を試みることである。(1)の調査でのアプトプットの中心は、建築年代や構造形式別に色塗りをした分布図である。特に文化的景観の場合、生活・生業に関わる建築物がすべて調査対象となるため作業量が多く、従前の手作業での分布図の作成に代わる効率的な調査方法が必要になっていたという事情がある。(2)は、これまで建築分野のみで行われていた建築物単体での考察や評価を、各分野の成果と統合しながら景観地というより広範な視点で考察・評価することを試みたものである。

(3) 研究の方法

(1)では、高解像度の空中写真を用いて最初に GIS 上に正確な建築物のポリゴンを作成し、その基本地図をすべての成果に用いることを試みた。2013 年度から 2019 年度の 6 年間で 7 自治体 8 地域の歴史的建造物の景観調査においてその調査方法を適応した。着手順に、宇多津町、西予市、松野町奥内、松野町目黒、多度津町、丸亀市、宇和島市、善通寺市である。空中写真は自治体が独自に撮影していることも多く、最新の空中写真の提供を受けた場合も多かった。(2)では、事前に地籍図やオルソ化された古地図等の地域の固有データの提供を受けて調査の方針の検討に役立てた他、建築分野の調査結果

(建築物の分布図)を他の分野のジオデータと統合し、GIS上で一元的に図化を試みた。これは、文化的景観の調査事業が行われた西予市、松野町奥内、松野町目黒の2自治体3地域で適応した。

(4) 研究の成果

(1)については、近年の空中写真の高解像度化により、1棟1棟の屋根形状・屋根葺き材が分かるほどになっており、データの少ない離島も含め8地域すべてで実施可能であった。各地の建築物の数は100~800棟ほどで、手作業で色塗りができないわけではなかったが、調査票との整合性を欠く場合や、道路からの目視には見落としや記入ミスもあり、正確なものを作成するには時間を要してきた。本研究では、アウトプットに使用する空中写真を現地に持ち込み、それを参照しながら調査票を埋めることでそれらが軽減することができたと思われる。屋敷配置図や屋根伏図を作成する際にも、その空中写真が下書きとして使用することができたのも大きな時間の節約になった。最後には調査票の記載一覧とのテーブル結合により、調査票と整合性のある色塗りの分布図を作成することができた。歴史的建造物の景観調査は、現地で1棟ずつその建築物を観察することにより年代や価値のあたりをつけるため現地調査は欠かせないが、この手法で情報の正確さとアウトプットまでの速さは高められたと考える。(2)については、GISを用いて地質、歴史、地理、植生、海洋、建築、考古、民俗、生態、地形、土地利用等の各分野の研究成果を統合し、歴史的建造物に対して多面的な評価ができるようになった。一例を挙げれば、これまで土地利用の情報がなかったために、建物単体での分析に終始することが多かったのに対し、集落全体の屋敷配置の分析や、土地利用(生活・生業)の変遷との関係性にまで考察を広げることが可能になった(図3)。明治の地籍図の土地利用の可視化などは、地理学の分野などですでに行われていたが、そうした各分野の成果のデータ提供を受けながらGISで建築物の分布と統合するのは、文化的景観の調査事業としても新しい試みであった。また、その成果を用いてワークショップや保存計画の策定が迅速に行われた点も大きな成果であった。



図3 建築物の分布図と土地利用の調査を行った研究者の成果をGIS上で統合した例

(5) 課題と展望

自治体内にはGISを扱える部署が限られること、自治体ごとにデジタル化の進捗状況に差があることなどの課題があるが、政府の掲げる「電子行政オープンデータ戦略」等や、ドローンの普及などにより、今後本研究のような調査手法が一般化する可能性は高い。文化財の分野でも今後調査成果のGISデータ納品が一般化すればとも考える。調査後は、景観地としての保存活用や防災計画などの施策が進められることが多く、地域住民や観光客にわかりやすく伝えるガイドマップの作成や住民ワークショップなどを実施する必要もある。いずれの場合も、調査時から正確で汎用性の高いGISの基本地図で成果を一元管理できれば、そうした事業を迅速に行うことができる。歴史的建造物は、地域資源・観光資源としても注目される一方、価値が十分認識されないまま急速に損失しており、今後もこうした調査手法を改善して迅速にその把握・価値付けを行う支援を行いたい。

地球温暖化に向けた適応策と緩和策

香川大学創造工学部環境デザイン工学領域 講師 玉置 哲也
連絡先 tamaki.tetsuya@kagawa-u.ac.jp



(1) 適応策と緩和策とは

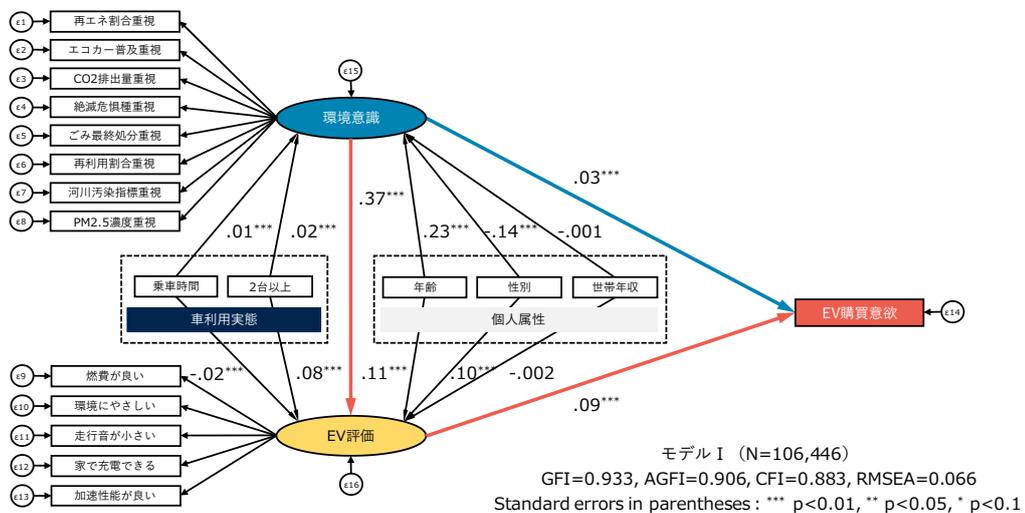
地球温暖化によってもたらされる影響は多岐に渡る。例えば、集中豪雨などの自然災害による被害の甚大化や自然環境の変化に伴う食糧問題、また、デング熱などの熱帯地方の疫病の拡大リスクの増加などが挙げられるが、どれも我々の生活に多大な影響をもたらす可能性を含んでいる。国を挙げて地球温暖化対策に取り組むことが不可欠であり、これらの対策は大きく2つに分けることができる。温室効果ガスなどの温暖化の原因とされる要因を取り除くような対策を**緩和策**と言い、再生可能エネルギーの開発などが挙げられる。一方で、温暖化による影響の軽減や防止策、さらには変動した気候条件を利用する対策のことを**適応策**と言い、具体的には自然災害対策の堤防の構築などが挙げられる。

(2) 温暖化問題に対する理論研究

適応策や緩和策に対する投資はそれぞれの地域の経済状況に大きく依存する。また、それだけではなく、被害の想定の方針により大きく変化する可能性がある。Nozawa, Tamaki and Managi (2018)では、想定する関数の違いによって適応策を重視すべき場合と軽減策を重視すべき場合の両パターンが生じてしまう可能性について明らかにした。また、Tamaki, Nozawa and Managi (2017)では、最適経済成長モデルを用いて、生態系への負荷がかかる技術の利用について言及している。2度目標や1.5度目標などの厳しい目標を達成するためには、生態系の価値評価の程度にかかわらずそれらの技術を利用し、目標を達成することが正当化される場合があることを示している。

(3) 日本国内における緩和策

日本のCO2排出量のうち運輸部門からの排出量は約19%であり、そのうち自動車からの排出は運輸部門の9割近くを占めている。電気自動車などの次世代自動車の普及によるCO2削減効果には多くの期待が寄せられている。この研究では、個人の環境意識や電気自動車の評価が購買意欲や満足度などのような影響をもたらすか分析している。



緑化法面の植生の変遷に関する研究

香川大学創造工学部環境デザイン工学領域 助教 小宅 由似
連絡先 oyake.yui@kagawa-u.ac.jp



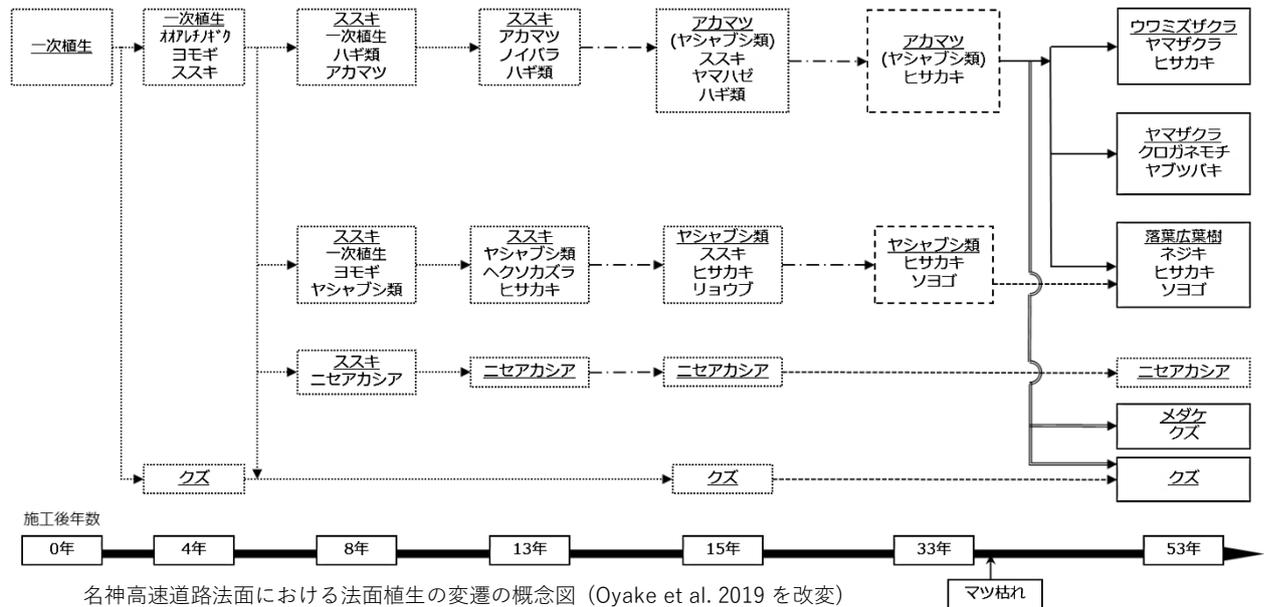
1. はじめに

日本は国土の約 73%が山地・丘陵地ながら人口密度が高いため平地造成の需要が高く、副産物として大型の法面が多く発生してきた。法面では省コストな表土安定を目的として種子吹付による緑化が実施されるケースがしばしばみられ、現行の緑化法面の植生評価は緑化後数年以内の表土安定を評価する量的指標(全植被率、導入植物の枯死率)により実施されている。一方で 1990 年頃以降の生態系保全に関する社会的要請の高まりに伴い、法面緑化においても植生回復、環境・景観保全をも目的に含むように変化してきた。日本においては法面造成に伴い喪失する植生の多くは森林であり、その回復には長期間を要することから、現行とは異なる新たな評価基準を開発・策定が急務である(吉田 2009)。

そこで、植生回復の過程をも評価しうる指標として植生の変遷に着目し、経過年数と成立植生による評価基準の整備を最終目的として、法面における長期的な植生の変遷の知見の蓄積と整理を手掛けている。

2. これまでの研究成果

日本最古の高速道路である名神高速道路(栗東 IC~彦根 IC 間)の 7 法面を対象として、造成後 53 年経過時点の成立植生の調査を実施した。調査対象法面において過去に実施された植生調査の結果(亀山 1978, 星子 1999)を整理し、名神高速道路における 53 年間の植生の変遷を概念図化した。



表記された種は群落の主要構成種、下線を付した種は優占種を示す

名神高速道路の法面植生の変遷様式は大きく 2 つのパターンに分類された。1 つ目のパターンでは落葉広葉樹林が成立しており、通常の植生遷移を辿っていると考えられた。2 つ目のパターンではクズやタケ類に優占された群落が観察され、経年に伴い植生遷移が進行する可能性は低いと判断された。

3. 今後の研究

以上の研究では 1 路線における法面植生の変遷のみ整理できた状態であり、植生評価の基準の整備には他地域や異なる年代の法面植生の変遷を調査する必要があることから、2021 年度は九州自動車道・中央自動車道において植生調査を実施した。上記調査結果をもとに法面植生の変遷、ならびにその成立に影響する要因としての周囲の植生ならびに土壌環境を整理し、概念図の補足・拡充を図る予定である。

参考資料

Oyake et al. (2019) Long-term vegetation transition on man-made slopes 53 years after construction in Central Japan. Landscape and Ecological Engineering 15: 363-378.

備考

九州自動車道、及び中央自動車道における研究は科研費「研究活動スタート支援」(課題番号 19K23680)により実施した。

救急車の出動状況を考慮した出動拠点の最適配置

香川大学創造工学部環境デザイン工学領域 助教 鈴木 達也

連絡先 suzuki.tatsuya@kagawa-u.ac.jp



1. はじめに

近年、高齢化による救急搬送需要の増加が指摘されている。これに対して、限られた資本の中でマネジメントを効率化することは、サービス水準の維持という観点から人口減少や高齢化が進む多くの地方都市で重要な課題であるといえる。本論文では詳細な需要分布を基に救急搬送における適切な施設配置モデルを構築することで、施設の統廃合や救急部隊数の変更による影響を明らかにする。

2. 方法

本研究では、実際の救急現場への出動データを基にシミュレーションを行い、最寄りの救急隊が出動中のため、次に近い救急隊が対応するといった、部隊の不在状況の再現を試みる。また、この不在状況を考慮した救急車の出動拠点について、現場への到着時間最小化（移動距離最小化）を目的とした最適配置の計算を行う。

シミュレーションは、各年の1月1日から12月31日まで実際の需要発生日時、場所を再現し、その時最も早く現場へ到達できる救急隊を選択、出動させる。最適化計算に関しては、対象地域を約500m格子で区切った1758カ所を候補地として1カ所ごとに最適化を図る逐次最適化を行う。

3. 結果と考察

2014年の救急搬送需要の分布、現在の消防署配置、シミュレーションによる最適配置の結果を図1に示す。現在の配置に比べ、中心部に集中する配置となった。表1に、現在の配置と最適配置における現場への平均移動距離を示す。いずれの年もシミュレーションによる最適配置によって、現場への平均移動距離を短縮することができた。

さらに、施設を統廃合し、部隊数を維持することを想定した12署13部隊、施設を統廃合し、部隊数も削減することを想定した12署12部隊についても最適化計算を行ったところ、いずれも現在の配置よりも現場への移動距離を短縮することが可能であることが示された。

4. おわりに

現在の配置に比べ、中心部に偏った配置が得られたことから、中心部での集中した需要によって部隊の不在状況が生じており、移動距離に強い影響をもたらしていることが確認された。

本研究は科研費(17K14776)の成果の一部であり、鈴木・佐藤を再構成したものである。

参考文献

1) 鈴木達也, 佐藤栄治: 救急隊の出動状況を考慮した消防署最適配置分析-宇都宮市を事例として-, 日本建築学会計画系論文集, Vol.84, No.755, pp.97-106, 2019.1

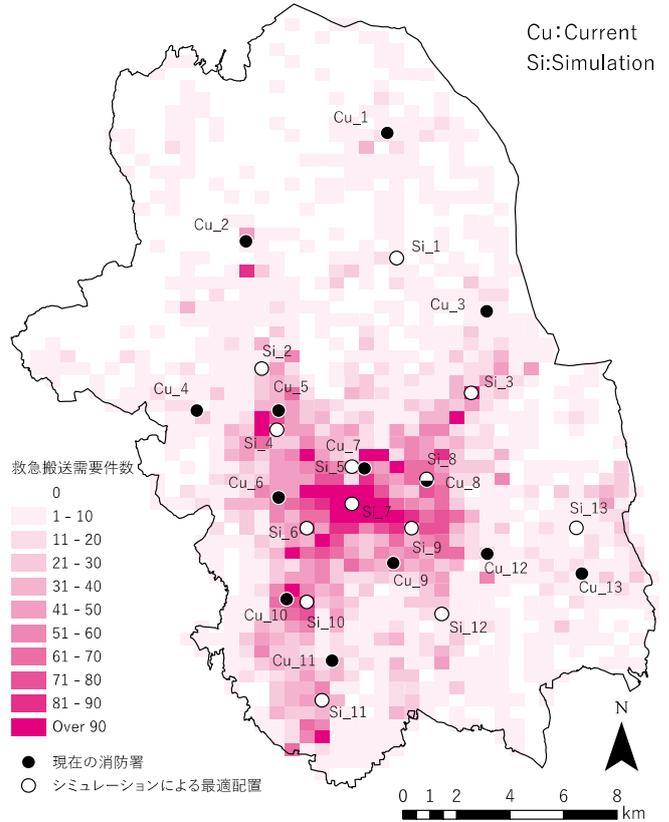


図1 現在の配置と最適配置

表1 各配置による現場への平均移動距離

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
現在の消防署配置 (13署、13部隊)	2712.19	2647.09	2669.09	2756.95	2765.04	2777.39	2798.46	2798.11
最適配置 (13署、13部隊)	2326.43	2268.94	2290.75	2357.63	2379.42	2362.89	2370.97	2360.12
最適配置 (12署、13部隊)	2368.77	2314.54	2322.17	2378.44	2396.03	2389.99	2411.14	2398.93
最適配置 (12署、12部隊)	2439.13	2369.19	2377.10	2440.38	2474.75	2467.94	2495.65	2506.33

家庭用燃料電池の詳細計測に基づく導入効果評価および

集合住宅への導入法提案に関する研究

香川大学創造工学部環境デザイン工学領域 助教 山本 高広

連絡先 yamamoto.takahiro@kagawa-u.ac.jp



1. 研究背景と目的

家庭用燃料電池(以下 FCCGS)は発電時に発生する余剰排熱を暖房、給湯等の用途に再使用することで高い一次エネルギー削減効果を期待でき、気象条件等に左右されず、ある程度発電を調整し得る仕様から分散型電源の有望な一手段として注目されているが、2000年代後半の販売開始以降、様々な仕様変更、並びに導入対象世帯の多様化が進む一方で、実測に基づく実住宅での導入効果に関する報告は少なく、実態について十分な知見が蓄積されているとは言えない。このような背景から、現在山本研究室では、実測やスマートメーター記録データから FCCGS の導入効果を明らかにするとともに、確認された問題を解決しうる設備の導入、使用方法の提案を目指しシミュレーション検討等の研究を進めている。

2. 実測に基づく家庭用燃料電池の性能評価

研究の第一段階として、福岡市東区アイランドシティ内の照葉スマートタウンにおいて、HEMS データに基づく FCCGS の発電実態の分析を行った。その結果、それぞれの家庭の世帯類型、電気使用の状況と、年間発電量、稼動時発電効率の関係を示し、電気、熱需要が同程度であっても負荷の発生パターンの差異により年積算発電量で 2 倍程度、通年発電効率で最大 3~4 ポイント程度の差異が生じることを明らかにした。また、これらの対象世帯から、代表的な世帯を選抜した上でさらに詳細な実測を行い、ユニット効率、利用端効率を評価するとともに、後述するシミュレーションプログラム開発に必要な機器仕様、特性に関するデータを収集した。

3. シミュレーション検討による導入法の提案

実測時に多くの世帯で確認された部分負荷運転の頻発および余剰排熱過多による発電強制停止を回避することを目的として、複数世帯による FCCGS の共有を提案し、その効果を実測に基づき開発したシミュレーションモデルによって推計した。その結果 2~3 世帯あたり 1 台程度の密度で機器を共有することで、年負荷率を高め、イニシャルコスト、ランニングコストとも削減し得ることを確認した。

4. まとめ

これまでの研究成果により、現時点での導入方法並びに評価手法の問題を明らかにするとともに、設備の導入方法、住まい方によって導入効果を大きく改善し得ることを確認した。現在は、さらに考え得る対策として、家庭用蓄電池との連携や、近年注目が高まりつつあるエネルギー消費行動変容等のシナリオも含めたシミュレーション検討ならびにフィールド実験を進めている。

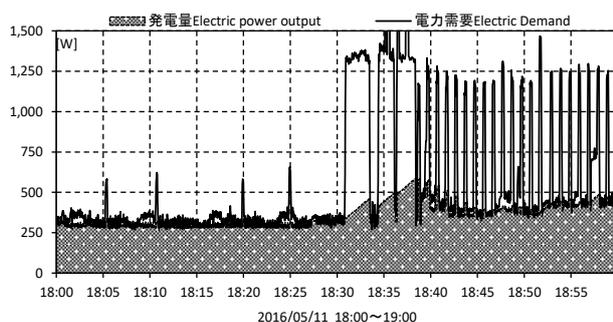


図 1 電気使用量と FCCGS 発電量の関係

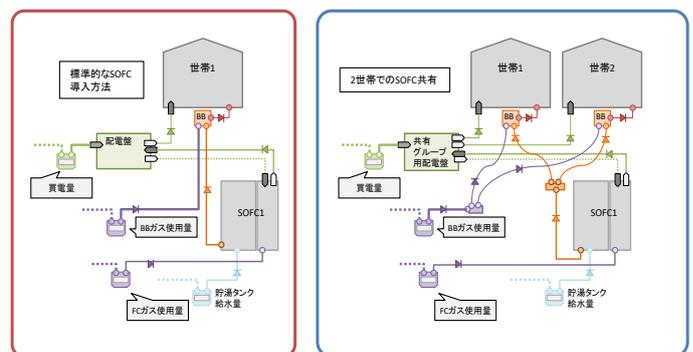


図 2 シミュレーションにおいて検討した 2 世帯での FCCGS 共有