

CONTENTS

特集

グローバル人材の育成：高等教育の国際化
地球工学科国際コース コース長
杉浦 邦征

研究最前線

▷エネルギーの安定供給への道を切り拓く
フロンティア技術
資源工学講座 応用地球物理学分野
▷水の循環を予測・制御し、人間社会と
水との持続可能な関係を考える
都市国土管理工学講座 水文循環工学分野

スタッフ紹介

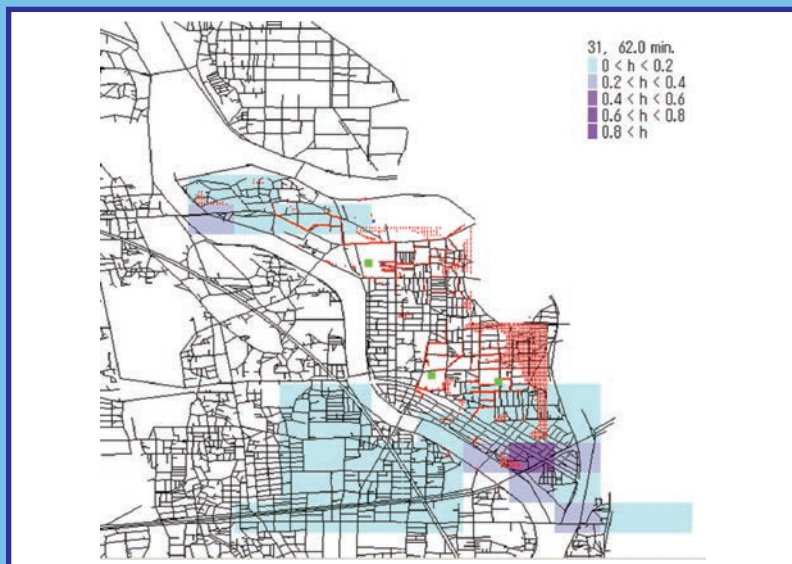
水工学講座 教授 椎葉 充晴
応用力学講座 准教授 西藤 潤

院生の広場

院生紹介：博士後期課程 1年 白井 秀和
：修士課程 1年 大橋 英紀
：修士課程 1年 沢 一馬

東西南北

受賞
平成 23 年度都市社会工学専攻 HUME 賞
計報
専攻主催、共催の行事
イベント情報
専攻カレンダー
大学院入試情報



写真上：桂キャンパス C クラスタ（2012 年 3 月 20 日現在）左の建物が C1 棟（地球系）、中央奥側が C2 棟（建築系）、右側が建設中の C3 棟（物理系）

写真中：大学の世界展開力強化事業「強靱な国づくりを担う国際人育成のための中核拠点の形成－災害復興の経験を踏まえて－」Opening Symposium の会場風景

写真下：水害避難行動のマイクロモデルシミュレーション (P9)

特集

グローバル人材の育成：高等教育の国際化

地球工学科国際コース コース長 杉浦 邦征

京都大学における教育の国際化として、文部科学省が平成21年度から開始した『国際化拠点整備事業（グローバル30）、平成23年度より“大学の国際化のためのネットワーク形成推進事業”に改称』の拠点大学としての活動が挙げられる。この事業は、世界的な人材獲得競争が厳しくなっている状況の下、日本の大学の戦略的な国際連携を推進し、その高等教育の国際競争力を強化し、外国人留学生に魅力的な水準の教育等を提供するとともに、外国人留学生と切磋琢磨する環境の中で、日本人学生も含めて国際的に活躍できる高度な人材の養成を図ることを目的としている。日本人の海外留学数（派遣）は、平成24年1月の文部科学省集計によると図-1のとおり推移しており、平成16年度をピークに減少し始め、平成21年度では59,923人まで落ち込んでいる。一方、日本に滞在する外国人留学生数（受入）は順調に増大し、平成14年度以降、派遣数と受入数の開きが拡大し、（独）日本学生支援機構・平成23年度外国人留学生在籍状況調査によると平成23年5月1日現在では、派遣数に対して倍以上の138,075人を受け入れている。国際的な産業競争力の向上や国と国の絆の強化の基盤として、地球規模でのグローバルな課題に積極的に挑戦し活躍できる日本人の育成が急務であり、若い世代の“内向き志向”を何とか克服していく必要がある。

京都大学のグローバル30では、『京都大学次世代地球社会リーダー育成プログラム（Kyoto University Programs for Future International Leaders: K.U.PROFILE: ケーユープロフィール）』を冠し、京都大学が持つ世界最先端の独創的な研究資源を活かし、地球社会の現代的な課題に挑戦する次世代のリーダー育成のための教育を実践、推進を計っている。英語のみで学位の取得ができる教育プログラムとして、学部において工学部地球工学科国際コース（土木分野）、大学院において文理融合の8研究科で11の国際コースをスタートさせた。工学部・工学研究科では、平成21年7月に拠点大学として採択された後、世界各国の都市と周辺地域の地球環境・エネルギー問題に配慮しつつ、社会基

盤の整備・マネジメント、防災・減災、国土保全などに貢献できるエリート人材の育成のため、多様な国籍の学生が共に学べるようすべての講義を世界共通語の英語で履修する修士課程：『環境基盤マネジメント国際コース（社会基盤工学専攻）』および『都市地域開発国際コース（都市社会工学専攻）』、ならびに学士課程：『地球工学科国際コース』の履修コースを整備し、国際コース向けの渡日を必要としない入学者選抜試験を実施し、それぞれ平成23年4月に第1期生を受け入れた。募集人員ならびに受入学生数を表-1に示す（平成21年度にスタートした融合工学コース：人間安全保障工学分野も含む）。地球系専攻で学ぶ外国人留学生の出身国は25か国に及び（図-2参照）、これらの外国人留学生と日本人学生が共に学ぶ過程において、異文化との接触・交流によりお互いの価値観の相違点を体験・理解し、自分自身を再認識し、自分を取り巻く世界との時間的・空間的な関わりについての理解を深め、お互いの信頼関係の構築が将来の国際的な人的ネットワークの形成となり、卒業・修了後、世界のための人材となり、願わくば世界のリー

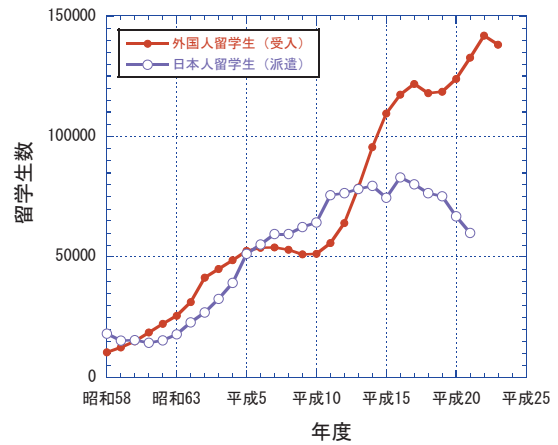


図-1 日本人の海外留学と外国人の日本への留学

表-1 工学部・工学研究科における英語のみで学位が取得できる教育プログラムの在籍学生数

大学院・学部	専攻・学科	履修コース名	外国人募集人員 (括弧内は日本人)		履修者数 (括弧内は日本人)	
			平成23年度	平成24年度	平成23年度	平成24年度
大学院 (博士)	社会基盤工学専攻	融合工学コース 人間安全保障工学分野	募集人員の定めはない		4月入学 6 (1)	4月入学 8 (2)*
	都市社会工学専攻				10月入学 16 (1)	/
	都市環境工学専攻					
	建築学専攻					
大学院 (修士)	社会基盤工学専攻	環境基盤マネジメント国際コース	6	一括募集	3 (0)	4 (0)*
	都市社会工学専攻	都市地域開発国際コース	6		2 (0)	7 (0)*
学部	地球工学科	国際コース	30 (10)		14 (10)	13 (6)*

* 入学者の見込み数

なお、人間安全保障工学分野は、平成19年4月入学より平成22年10月入学までに74名の履修者がいる(日本人16名)。また、外国人留学生の出身国は、中国、韓国、台湾、フィリピン、ベトナム、カンボジア、シンガポール、タイ、インドネシア、マレーシア、ネパール、インド、スリランカ、バングラディッシュ、イラン、ニュージーランド、スイス、ロシア、クリアチア、ベルギー、アメリカ、アルゼンチン、ペルー、パラグアイ、ケニアである。

地球工学科・地球系専攻で学ぶ外国人留学生(平成23年11月現在)

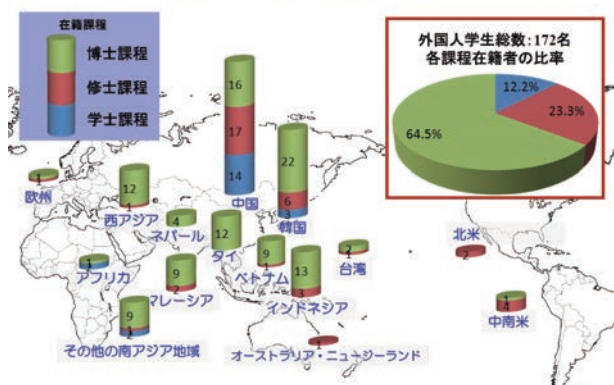


図-2 地球工学科・地球系専攻で学ぶ外国人留学生

ダーとなることを期待している。なお、地球系専攻の他の国際教育活動としては、平成21年度に採択された『組織的な若手研究者等海外派遣プログラム：地球規模の文明創生に貢献する社会基盤研究者の養成(3か年)』があり、学部生、大学院生、ポスドク、助教、講師を海外へ短期派遣している。また、本年度採択された『大学の世界展開力強化事業：強靱な国づくりを担う国際人育成のための中核拠点(5か年)』の事業推進により、平成24年度からASEAN連

携大学との間で相互の大学院生(派遣・受入でそれぞれ15名)を現場主義の視点から異国の地で英語によるエンジニアリング科目の履修を課す国際コースをスタートさせる。

ところで、グローバル30の事業は、平成32年には、外国人留学生比率を20%(最低でも10%)、教員の外国人比率を10%(最低でも5%)とすることを義務付けており、京都大学の目標は、平成22年5月1日時点で1207名(総学生数の5.3%)であった外国人留学生を3200名に増加させる計画である(平成23年5月1日現在では1658名(総学生数の7.2%)に増加)。また、平成23年3月末時点での外国人教員比率は、6.9%である。なお、平成23年度の学部開講講義の内、英語で行われたものは、全体4990科目中97科目のたった1.9%に過ぎない。工学部では、地球工学科が提供する国際コース1回生向け5科目のみであった。一方、地球系3専攻が修士課程向けに開講する講義科目83科目の内、英語講義は34科目41%に及び、なんとか英語のみで修了できる程度となっている。しかし、世界の有力大学は英語圏にあり、外国人留学生比率は20~30%(大学院生比率は、学部生比率の3倍程度)、外国人教員比率も概ね10~50%(スイス連邦工科大学では50%に達する)であるなど、日本の大学の国際化は大きく立ち遅れているのが現状で、大学組織全体で早急な対策の立案、実行が望まれるところである。

研究最前線

エネルギーの安定供給への道を切り拓くフロンティア技術

社会基盤工学専攻 資源工学講座 応用地球物理学分野
教授 三ヶ田 均
准教授 後藤 忠徳
助教 武川 順一

例えば、スイッチを入れると電気が灯ります。蛇口をひねれば、水が出ます。買物に行けば、着飾る衣服が店頭に並んでいます。数限りない商品は、どこからかお店に運ばれて来ます。こうした便利な生活を送れるのが当たり前だと思いませんか?実は人類の進化発展を支えて来たのが自然の恵みです。自然の恵みの代表が、我々人類の生活の基盤に隠れて見えない資源です。平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、津波により原子力発電所で深刻な事故が誘発されただけでなく、日本中で電力供給不足が議論されました。日頃なにげなく使っているエネルギーの大切さを身にしみて感じた人が多かったのではないかと思います。放射性物質による環境への影響も危惧され、エネルギーと環境の関わり大きさも認識された人も多いと思います。エネルギーを考える場合、資源、自然災害、環境問題が密接に関連しています。エネルギーの安定確保という観点では、地震・津波などの自然災害、省エネルギーや環境破壊などの問題もリスクとして考えられなければいけません。

21世紀を迎え、実は自然の恵みである資源の供給に翳りが見え始めました。国際エネルギー機関は、2010年に発行した世界エネルギー白書において、原油(難しい言葉でいうと在来型油田からの原油)の生産が2006年に最大量を記録し、今後供給が減少するというのを初めて公式に認めました。数十年というしばらくの間は、幸に天然ガスや石

炭などを使って原油の不足分を補えますが、いずれ到来するエネルギー資源の不足は、海外依存率の高い日本に大きな影響を及ぼします。例え1分でも1秒でも資源の安定供給の時間を引き延ばすことは大切なことです。過去46億年の歴史の中で、人間が誕生し、進化発展を遂げた場である地球を理解し、資源の安定供給に少しでも役立つことが必要です。自然災害への理解を深め、省エネルギーを推進し、エネルギー資源の減耗を最小限に食い止め、エネルギー資源を効率的良く回収するといった技術発展は不可欠なアプローチなのです。資源の確保に失敗し、皆さんが学校で習ったオイルショックが恒久的に続くような電力不足・日用品不足に加え、環境破壊の進行といった危機を少しでも遠ざけるためにも。

この資源を扱う資源工学講座に応用地球物理学分野があります。当研究室の研究対象は地球です。資源の安定供給に必要な技術の革新を目指すだけでなく、災害に結びつく自然現象への理解を深めること、そして技術や自然現象を理解した学生を社会に送り出すことを、教育研究の目的としています。研究室の行っている研究は、自然災害、省エネルギー、地震波や電磁気などの地球物理学を用いた探査というグループに大別されます。実際には互いに接している物質の間で働く接触力を使って伝わる波動現象や物質の変形を利用するか、物質が離れていても影響のある重力や電磁力といった遠隔力の場の作用を利用した方法が主体と

なっています。全てをご紹介したいところですが、紙面の都合があり、他ではあまり目にするのでできない (1) 津波の計算手法の研究、(2) 地下水探査の研究、(3) 地震から地殻の応力変化を推定する研究、そして (4) 塗料を使った省エネルギーの研究をそれぞれ取り上げ、ご紹介します。

(1) 津波の計算手法の研究

津波は、一度発生すると多くの犠牲者を出す災害です。2011年東日本大震災では、原子力発電所の事故が津波による電源喪失で引き起こされました。テレビの画面を通して津波の恐ろしさを目の当たりにされた人も多いのではないかと思います。津波の予測技術はこの20年の間に格段に進歩し、高性能コンピュータを使った数値シミュレーションによる津波波形の予測や沿岸部の浸水地域の推定などが可能になっています。例えば2010年2月27日のチリでのマグニチュード8.8の地震では、太平洋の対岸にある日本にも警報が発令され、多くの住民が避難するということがありました。幸にして、津波の高さが予測以上にはならず、被害も小さくて済みました。しかし、この際には、津波警報の発令から解除まで、ほぼ1日かかっていることが問題になりました。実は、津波の波形計算では、第1～2波までは比較的波形を推定可能なのですが、後続波と呼ばれる第2波より後の波形を推定することは、現在困難です。このため、シミュレーションによる予測ではなく経験的な予測を根拠として、津波警報を解除できませんでした。この後続波を現在より高精度に推定するには、計算方法をもっと高度化する必要があるという仮説を立て、この問題に取り組みました。その結果、図-1・2に見られる通り、海水の運動まで取り込んだ計算手法を用いると、後続波の波形が変わることが認められました。今後の津波研究に、詳細な海底地形や海底地質の情報を取り込み、精度の高い津波予測に役立てることができるとする基礎研究となりました。

(2) 地下水探査の研究

人間の生命を支える資源の一つが水です。都市部では、多くの人々の水需要を賄うため、水道が必要になります。例えば琵琶湖疎水は、京都の街の水需要が、建設の一つのきっかけとなったことは有名です。遠く離れたダムで水を確保し、都市部に供給する水道もありますが、斜面の高低

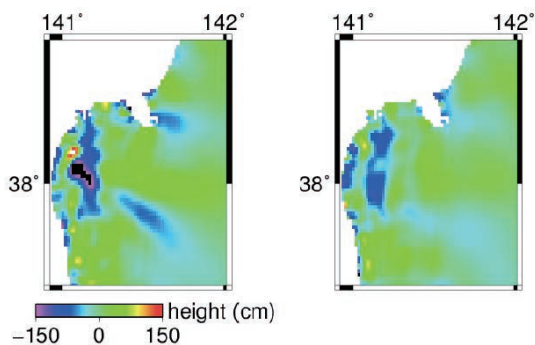


図-1 実際の津波ではなく、東経142度に一樣な正弦波一周期の長さの津波が入力されて100分後の、仙台湾の津波波高分布(大畑, 2012)。左側が研究室のシミュレーション結果、右側が通常用いられる手法による結果である。既に第一波は岸に到達し、後続波の波の高さ分布の違いがわかる。

差などにより流れる地下水を水道源とする場合もあります。地下水は水資源という観点から重要です。また、土の汚染問題が発生すると、その汚染をどのように食い止めるか、あるいは汚染物質を除去する作業が必要になります。地下水が汚染物質を拡散する役割を負ってしまうためです。

この地下水がどこをどのように流れているかは、実際に井戸を掘り、確認するまでは分からないことが多く、手間だけではなく時間もかかることが多いのです。また、掘った井戸の場所の情報から、井戸のない場所での圧力や流量といった地下水の流れを把握するための情報(地下空間の情報)を推定する方法(一般に内挿と呼ばれます)が必要になり、実は正しい結果が得られる保証がありません。何か新しい、地下水の流動を推定する地球物理学という根拠のある方法が必要です。

さて、ある電位に対し地表で測定される電位を自然電位と呼びます。地下水は、流れる際に電気を発生し、地表に電圧となって現れることが知られています。そこで、地表での自然電位から地下水の流れている場所を推定できるという仮説を立て、この仮説を数値シミュレーションにより検証しました。先ず斜面のモデルと地下に水の流れ易いあるいは流れ難い異常透水域(図-3)を考え、水の流れ易さを変化させながら、地表での電圧分布をシミュレーションしました。その結果、地下の透水異常に合わせ、地表での自然電位が異常値を示すことが確認されました(図-4)。これまで、自然電位は、地下の流れの下流に向かって高くなることを使って、流れの方向を導くために使うことを中心に測定されていました。自然電位を変化させる地下の電気伝導度(あるいは比抵抗)、流れの電圧への変換率である流動電位係数、地下の透水性を表す透水係数など、数々の物理量が重なって影響し、透水係数だけを切り離して考え

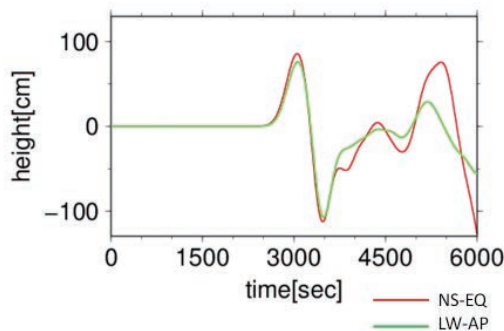


図-2 シミュレーションにより予測された湾内のある点における津波の波の高さの変化(大畑, 2012)。緑線(LW-AP)は通常用いられる近似(波の長さが水深より十分に大きいとする仮定)を使って予測されたのに対し、赤線(NS-EQ)では水の運動を取り込んだ式を解いて得られた波形を示している。

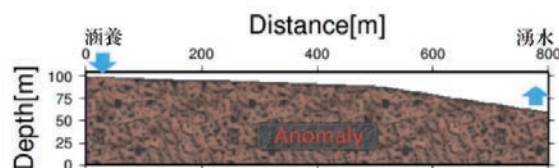


図-3 地下水の存在する斜面モデル(尾崎, 2012)。図の中央に水の通り易さの変化(透水異常)を考え、この異常を地表から推定できるかどうかを検証した。

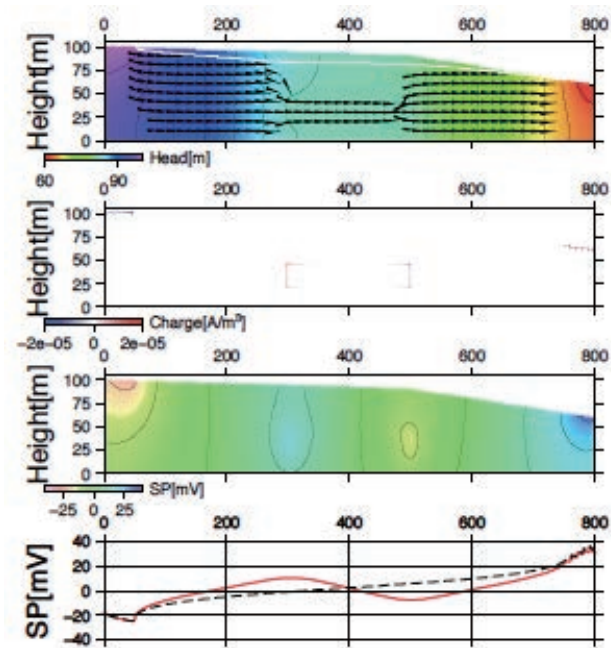


図-4 地下に透水異常がある場合の数値シミュレーション結果(尾崎, 2012)。上から、地下水の流線、地下の電位源、地下の電位分布、地表の電位(点線は異常のない場合の電位)を示す。透水異常の両端直上で、電位異常が起きていることがわかる。

難しいというのが理由です。今回の数値シミュレーションで、実は透水性が最も大きく自然電位に影響することも確認できました。更に、地表の自然電位異常を使って地下の透水性異常を求めてみたところ、下方接続という数学的な手法を使うと、ある程度元のモデルに近づく結果を得られることも確認できました(図-5)。自然電位異常に下方接続という手法を適用した例はなく、今後の自然電位を用いた地下水の通り易さの探査という地下構造の情報を求める新たな手法に結びつきます。

(3) 地震から地殻の応力変化を推定する研究

地震の波形は、図-6に見られる通り、初期微動P波と主要動S波とそれに続くコーダ波から成り立っています。このコーダ波は、S波の大きな振幅から徐々に振幅を小さくしながら、尾を引くように見えます。この時間とともに振幅が減少して行く割合を示すのがコーダQと呼ばれる数値(以下ではQ値とします)です。Q値が大きい時は地震波の尾は長くなり、Q値が小さい時は地震波の尾は短くなります。このQ値が、大きな地震の前後で、その地震の発生域で、変化することが確認されています。地震は、地殻の破壊現象なので、Q値の変化は地殻の状態の変化を示していると考えられます。地震の発生に関係する地殻の状態量として、最も考えやすいのが応力ですから、Q値の変化は応力変化によって引き起こされるという仮説を立てました。地殻を構成している岩石には、過去の様々な地殻変動や温度変化といった原因で、元々き裂が入っています。き裂は岩石の接触のない部分ですから、地震波が通り難かったりして、接触力により伝わる地震波の速度(地震波の位相速度と呼びます)を変化させることが知られています。岩石に応力が加わると、き裂が部分的または全面的に閉じたり開いたりすると岩石の内部の接触状態も変わりますから、結果として、この岩石中を伝わる地震波の速度も

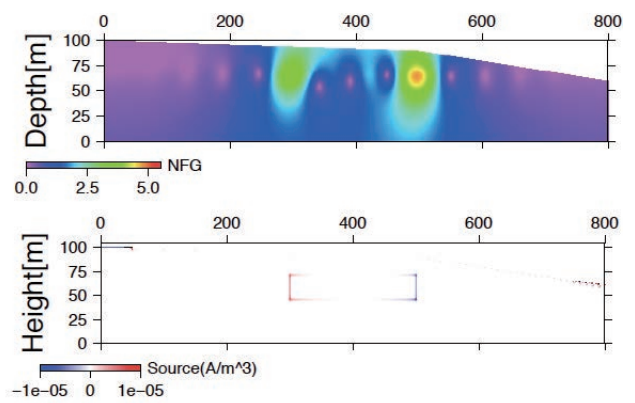


図-5 自然電位異常を下方接続して求めた地下の透水性異常の境界の分布(上図)。モデルとして与えた地下の電位異常源(下図)と比べると、異常の境界が良く求められていることがわかる。

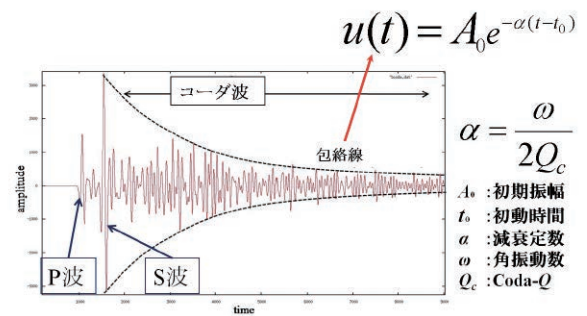


図-6 地震波とコーダQ(岡本, 2011)。地殻の不均質により、地震波の尾が作られる。

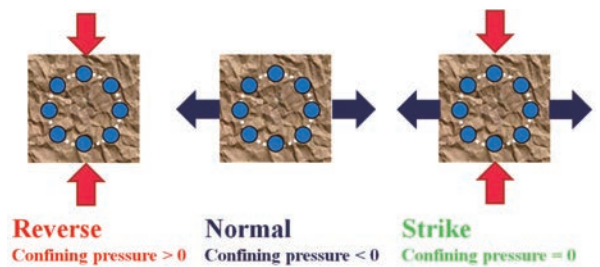


図-7 2次元の正方形地殻モデルに与えた、逆断層(左)、正断層(中央)、横ずれ断層(右)を引き起こす応力変化(岡本, 2011)。図中の青丸はシミュレーション結果となる地震波形を求める位置を示す。入力となる地震波には平面波を仮定し、一方からの入射に対するQ値を推定する。全方位からの入射に対するQ値を平均して、Q値が応力により変化する(Q値の応力依存性と呼びます)を確認した。

変化する訳です。この速度変化を取り込み、図-7のように多数の地震計を設置し、様々な方向からの応力を発生させ、Q値がどう変化するかを調べたところ、考えた通り、応力の変化に応じてQ値も変化する(図-8)ことを、数値シミュレーションで確認しました。その結果、Q値は岩石全体に加わる平均応力の変化に応じてその値を変化させること、応力の方向もQ値の変化率から推定可能であることという2つの発見を導くことができました。

地殻に働く応力を推定することは非常に困難であることが知られています。人工衛星を使ったGPSや地中深く掘られた井戸の中に設置する各種センサで計測できるのは歪と

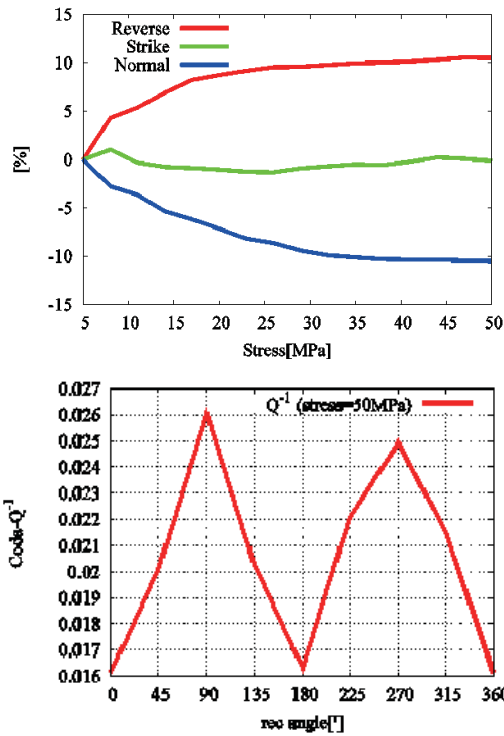


図-8 応力変化とQ値の変化(百分率)の関係(上図)。図7に対応した、逆断層(赤線)、正断層(青線)、横ずれ断層(緑)を想定している。Q値変化を推定する方向と応力の最も大きくなる方向の関係(下図)。上図からは、方位で平均した応力値に従うQ値の変化が期待されることがわかる。下図からは、Q値の変化が、働く応力の方位に依存することも示している。

呼ばれる物理量であり、どれくらい変形したかを示すに過ぎません。この物理量を応力にするためにはフックの法則(変形が応力に比例するという法則)を使います。フックの法則を当てはめるには、岩石がどれくらいの力でどれくらい変形するかという弾性定数(全部で最大21個)を知る必要があります。人間のアクセスが可能な地下数kmまでであれば、まだ試料(岩石のサンプル)を採取して計測することもできるかもしれませんが、地震の発生する地下10kmより深い場所となると、試料取得も大変ですし、歪を測定することも非常に困難です。地震波を観測することで、この困難な地下深くの応力の変化を測定する方法に結びつかないかを、現在検討しています。

(4) 塗料を使った省エネルギーの研究

地球温暖化の影響でしょうか?夏の暑さは年々厳しくなり、昼間に留守をしようものなら、帰宅後、エアコンを使わなければ部屋の温度を下げられないことも多いと思います。では、なぜ部屋の温度が上がるのでしょうか?その理由は、建物の外側が日射により温められ、その熱が建物の壁を通して部屋に入り込むからです。では、この熱を遮断することができたら、部屋の温度はどうなるのでしょうか?

日本の一般家庭では、電力消費が最大となる夏場の14時頃、平均して1.2kWhの電力を消費しています。この内640Whの電力がエアコン用です。このエアコンの使用をどう削減するかは省エネルギーを考える上で重要な問題です。もし部屋の温度が1度低くなると、一般家庭の平均的な消費電力を32Wh減少させることができると試算されています。

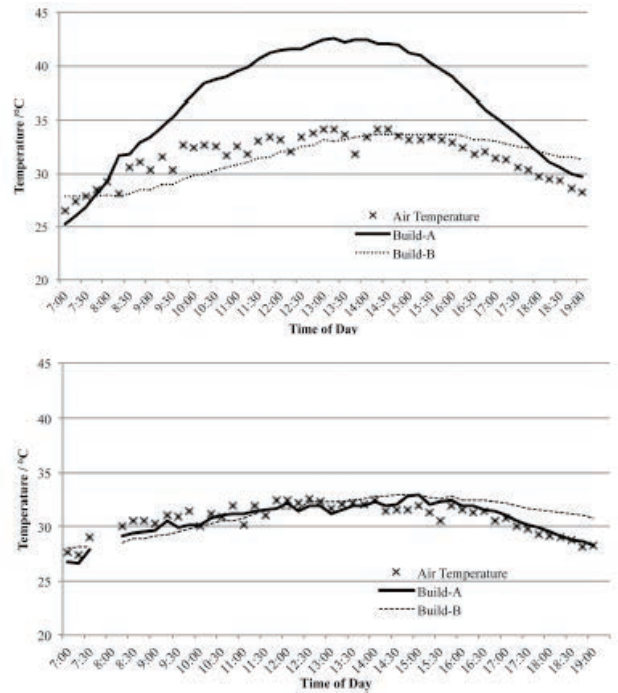


図-9 ペンキに微小セラミック球を混ぜる前(上図)と混ぜた後(下図)の金属製屋根の温度変化(Ohkawa, et al., 2011)。×印は気温、細線は既に微小セラミック球入り塗料を塗布した屋根の表面温度変化、太線は塗料塗布前後の温度変化。微小セラミック球入りの塗料塗布により、日射の熱エネルギー吸収効果に変化が現れ、実に10度程度の表面温度の違いが生まれたことがわかる。

実は、外壁用のペンキに微小なセラミック球(直径0.5~1ミクロン)を混ぜて塗ると、直射日光の下でもそのペンキを塗った壁面は熱を吸収しないことが実験で確認されています(図-9)。冬にも、外壁を通した熱エネルギーの散逸を抑えることも確認されています。ところが、なぜこうした熱エネルギー吸収を抑制する効果があるのかわかっておらず、どのような素材やどの程度の大きさのセラミック球を混ぜて良いのかが判っていませんでした。

そこで、輻射により伝達されるエネルギーの中で最も固体に対して影響のある近赤外線を微小セラミック球が選択的に遮蔽する、という仮説を立て、検証しました。その結果、セラミック球の直径に相当する波長の電磁波(近赤外線の波長)を遮蔽する効果があることを数値シミュレーションで確認することができました(Ohkawa et al., 2011; 堀江, 2012)。セラミックの素材は、地表付近に多い二酸化ケイ素ですから、この技術を実用すれば日本の電力消費を抑えることに役立つのではないかと考え、さらにこの技術を高めるべく数値シミュレーションを続けていますし、今後実験も始めたいと考えています。

以上のように、当研究室では、地球全体を実験室と考え、今後社会に役立つであろうと思われる研究を、主として地球物理学の観点から担っています。上記以外にも、海底熱水鉱床の問題、火山の問題、応力場と断層形成、電磁気データのデータ処理、地震探査データの処理、重力や磁気探査データの解析、石油の増進回収法の研究など、書ききれない研究テーマがあります。

さて、最後に、次の一次二元連立方程式の問題をご紹介します。

$$\begin{cases} x + y = 1 \\ x + y = -1 \end{cases}$$

高校までの数学では、この問題は解けません。しかし大学以降の数学を使う最小二乗法という考え方で、この問題に誤差を最少とする最適解を見つけることができます。実は、当研究室で扱う地球の資源・環境・エネルギーといった実際問題では、このような連立方程式を解かねばならないこともあります。上述のような様々な研究テーマに興味を覚える人だけでなく、こうした数学問題を解いてみたいという人も、いつでも当研究室迄お出下さい。

引用文献

Ohkawa, E., Mikada, H., Goto, T., Onishi, K., Takekawa, J., Taniguchi, K., Ashida, Y., Suppression of insolation

heating using paint admixed with silica spheres - An approach from infrared band electromagnetic scattering, *Physics and Chemistry of the Earth*, **36**, 1412-1418, doi:10.1016/j.pce.2011.03.011, 2011.

大畑朋也 (2012) : 海底地形の効果が津波伝播に与える影響に関する研究、京都大学大学院工学研究科平成 23 年度修士論文、平成 24 年 2 月、51pp.

岡本京祐 (2011) : 地震波散乱現象の観測による地域応力場変化推定法の研究、京都大学大学院工学研究科平成 23 年度修士論文、平成 23 年 8 月、61pp.

尾崎裕介 (2012) : 自然電位分布の透水係数による影響に関する研究、京都大学大学院工学研究科平成 23 年度修士論文、平成 24 年 2 月、59pp.

堀江 潤 (2012) : 微小セラミック球による電磁波散乱と輻射熱抑制効果の研究、京都大学工学部地球工学科特別研究論文、平成 24 年 2 月、32pp.

水の循環を予測・制御し、人間社会と水との持続可能な関係を考える

都市社会工学専攻 都市国土管理工学講座 水文循環工学分野

教授 堀 智晴

助教 野原 大督

人間の社会は、生命の維持といった生存の基盤レベルから、生産活動、そして文化活動といった高次のレベルまで、水資源と密接な関わりを持っています。一方、水は少なすぎれば渇水災害を、多すぎれば洪水災害をもたらす、生命・財産に損失を与えます。水は地球上を液体・固体・気体と態を変えながら循環する再生可能な資源ですが、その存在は、時間的にも空間的にも大きく偏るため、私たち人間は、その循環の一部を制御し、人工の循環系を形作ることで、水を利用可能な資源の形にし、洪水などの災害を防いできました。水文循環工学研究室では、変動する社会環境や水環境の中で、水を制御し、水災害リスクを管理して、水と人間が良好な関係を築いていけるようにするための方法について研究しています。具体的には、貯水池などの水工施設操作の高度化や、洪水や渇水リスクのマネジメント手法の開発、水の入手可能性と生産活動や人口動態を記述する水資源ダイナミクスモデルの開発、水と流域管理を巡る法・社会制度の研究に取り組んでいます。

(1) 長期貯水池操作への地球規模気象情報の利用と不確実性の分析

自然な状態の河川流況では、最も少ないときに取水可能な量が資源としての水の量となります。それ以上に水を利用したい場合には、余分な水を一次貯留し、不足するときにそこから補給することが必要になり、そのための施設が利水用ダム貯水池です。利水ダムは 10 年に 1 回程度の少雨の際に、需要を満足する補給が可能のように設計されていますので、それ以上の少雨が発生すれば、十分な補給ができなくなります。補給できる量がゼロとなってしまうと大きな被害が発生するため、こうした事態が予想される場合、段階的に補給制限（取水制限）を行わなければなりません。しかし、あらかじめ節水を行っていても、その間に十分な降水があり、補給制限が必要なかったような場合には、結果的に人工的な渇水を引き起こしたことになります。

こうしたことを防ぎ、かつ、取水制限による被害を最小限に抑えるには、1～3ヶ月といった比較的長期の貯水池

への流入量を予測し、それに基づいて全体の期間の被害が最小になるような操作をすることが必要になります。しかしながら、気象観測や予測技術の発達した現代でも、特定の貯水池流域の降水量を月オーダーで定量的に予測することは極めて難しいのが現実です。そこで、当研究室では、この問題に二つの方法でアプローチをしています。

一つは、地球規模の気象・水文情報を利用した渇水時貯水池操作方法の研究です。一般に、時間的により先のことを予測するためには、空間的により大きなスケールで起こっている現象を把握する必要があります。そこで、最近急速に整備が進んでいる全球気圧高度分布データを利用して、将来の流域降水量を推定しながら貯水池操作を行う方法を提案しています。具体的には、NCEP/NCAR 再解析データ（NOAA 環境予測センターと米国大気研究センターが観測データをもとにして、直接観測データの無い地域も含む地球全体の状況を解析して公開しているもの）の 500hPa 気圧高度分布をもとに、地球上のどの地点の状況が対象流域の将来の降水状況と関係が深いのかをデータマイニング手法を駆使して探し出し（図-1）、それをもとに貯水池の操作を高度化する数値実験を行っています。

もうひとつは、予測情報の持つ性質に応じてどのように意思決定をするのが効率的かという研究です。予測情報はそれぞれ様々な特徴や形態を持っていますが、一般的には、将来の降水量や流量の確率分布を与えているというように理解することができます。予測分布のばらつきが小さいほど限定的な予測情報で価値が高いのですが、必ずしも分布の平均が実現値と一致するわけではありません。また、ばらつきの大きな予測情報（範囲の広い予測）であれば、実現値をその中に含む可能性は高まりますが、意思決定にはあまり役立つ情報とは言えません。入手可能な予測情報がどのような性質を持っているかを調べ、それに応じた利用方法を考えることが重要です。そこで、過去に観測された貯水池への流入量の周りに、乱数を発生させて誤差を付加したものを平均とし、様々な分散を有する模倣的な予測情報を発生させ、これをもとに貯水池を操作した際の渇水被

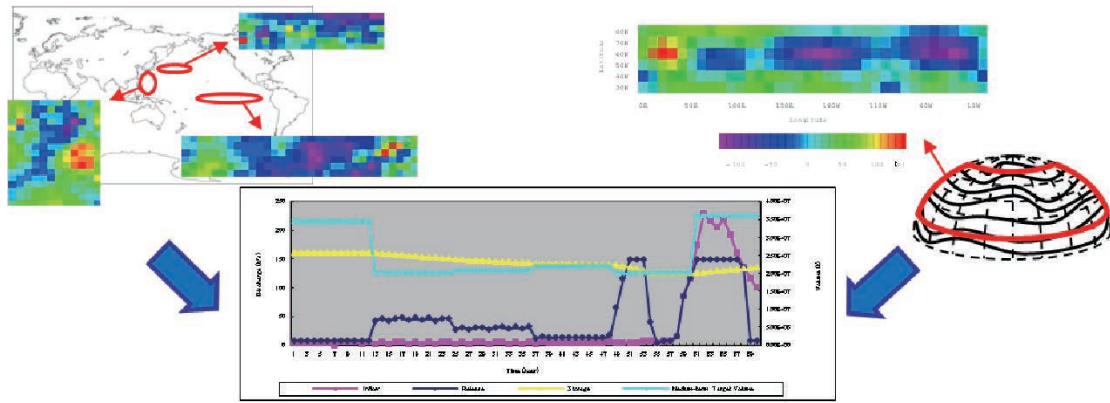


図-1 地球規模気象・水文情報を用いた貯水池操作支援システム概念

害の大小を解析することで、予測情報の特性に応じた利用方法を検討しています。図-2は予測情報の平均がどれくらいばらついているかという不安定性（横軸）と、予測確率分布がどれくらい広がりを持っているかという曖昧性（縦軸）の組み合わせによって、それに依存した操作をした場合の洪水被害がどの程度変化するかを整理した図です。左下が、完全な予測を表し被害が最小となっていますが、二種類の不確実性によって、予測に基づく操作を行った際の被害が変化の様子が分かります。

(2) 事前放流による多目的ダムの洪水調節効果の向上

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波災害や、9月の台風12号によってもたらされた洪水・土砂災害は、頻度は小さいもののその規模が極めて大きな外力に対する備えが欠かせないということを、改めて社会に突き付けました。また、こうした巨大災害は、広域化しかつ複合化することにも注意しなければなりません。例えば、地震によりもたらされた地盤の沈下や、地震動・津波による河川構造物の破壊・損傷は、その地域の洪水に対する耐性を低下させてしまいます。図-3は、東日本大震災で損傷した旧北上川右岸堤防の様子です。図-4は石巻市万石浦地区の地盤沈下の様子で、満潮時には浸水しています。

このように、下流の洪水防御力が損なわれている場合、その復旧が急務であることはもちろんですが、上流にあるダム貯水池の操作を工夫することで下流の洪水被害を軽減することも重要です。例えば、大雨が予測される場合については、制限水位または常時満水位よりも水位を低下させるよう事前に放流を行うことによって、より大きな空き容量を確保し、洪水時にはより多くの流入水を貯留し、洪水時の下流への放流を少なくしようとする弾力的操作（事前

放流操作）を行うことが考えられます。しかし、事前放流によって低下させた水位が回復しなければ流水補給に支障が出てしまいます。そこで、様々な精度を持つ模擬予測情報を発生させ、図-5に示すような貯水池操作のシミュレーション（放流量を決定し貯水池の水位や下流水位がどうなるかをコンピュータ上で計算すること）を繰り返し、その結果を整理することで、より安全で効果の高い事前放流操作の方法について検討を進めています。

こうした検討は、地震などによる河川施設の損傷といった複合的洪水災害に対応するためだけではなく、地球温暖化に伴う気候変動によって、洪水や渇水災害の程度がより厳しくなった場合への適応策としても極めて重要になります。

(3) 洪水リスクマネジメントとソフトな洪水対策のデザイン

洪水災害を防ぐための基本は、河川の改修や堤防の構築・遊水地や貯水池の建設など、計画規模の洪水を河川からあふれさせることなく流下させることです。我国では、概ね100年から200年に一度の洪水を安全に流下させることを

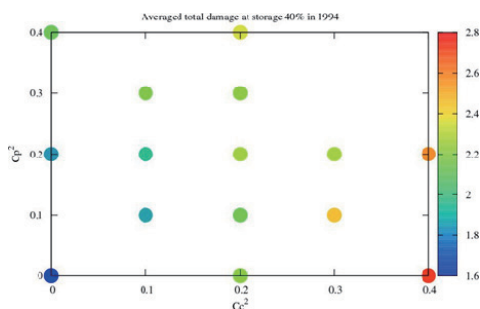


図-2 予測の不安定性（横軸）と曖昧性（縦軸）による被害の大小（縦軸、横軸とも値が大きいかほど精度が悪い予測になる。丸が赤に近い方が被害が大きい）



図-3 旧北上川右岸堤防に入った亀裂と沈下の様子 (2011年5月、水文循環工学分野撮影)



図-4 石巻市万石浦地区の満潮時の浸水 (2011年5月、水文循環工学分野撮影)

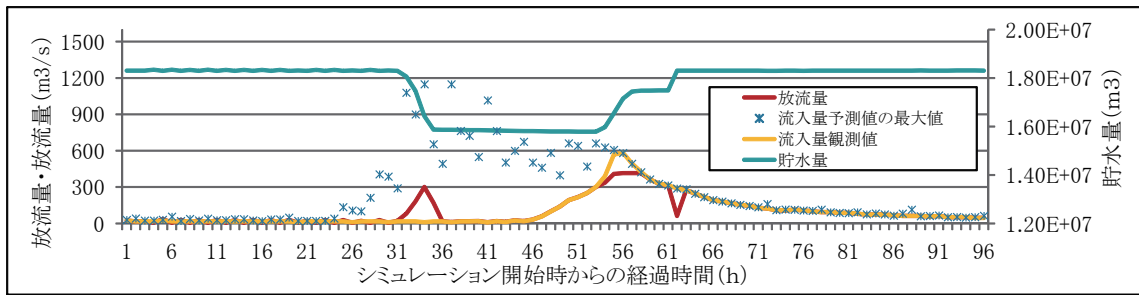


図-5 事前放流を含むダム貯水池の弾力的洪水調節シミュレーション

目標に河川整備が進められてきました。しかし、こうした目標を達成するにはまだまだ時間と資金を要すること、また、達成できた部分であっても設計水準を超える洪水は起こり得ることを考えると、河川の持つ安全度だけではなく、例えば、自分たちの住む家がどの程度洪水に対して危険であるのかを把握しておくことが必要になります。こうした指標として、地先の洪水リスク（都市内の各地点で浸水位とその発生確率を組み合わせたもの）を用いることを提唱し、このリスクをコントロールするための施設計画やソフトな被害軽減策を立案する方法を検討しています。

地先の洪水リスクを考えると、例えば道路や家屋のかさ上げや避難といった都市内での被害軽減策も治水対策の代替案となり、その計画問題は極めて大規模なものとなるとともに、人間行動の不確実性に起因する効果測定の高難度にも直面します。そこで、特に人間の行動と被害軽減の関係を探るため、洪水時に一人一人が情報に基づいて避難を決意し、経路を選択しつつ避難所まで歩いて移動する過程を、地域の洪水氾濫の広がりとともにコンピュータの中に再現する水害避難マイクロモデルの開発を進めています。水害避難マイクロモデルは、個々人の危険に対する認識を数値表現することで、危険認識の低い場合には避難指示を無視する、逆に指示がなくても自主的に避難するといった現実に近い行動が表現できます。最近のバージョンでは、図-6に示すように、詳細な街路網によって行動場を表現し、氾濫解析によって計算される浸水の状況と、個々人が避難していく様子を同時に表現することが可能となっています。

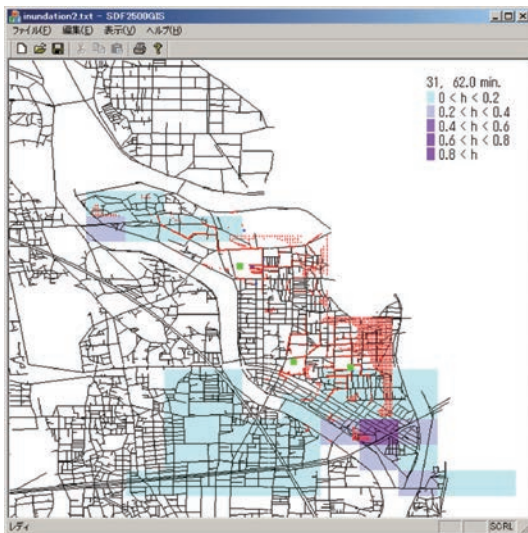


図-6 水害避難行動のマイクロモデルシミュレーション（黒線が街路網、色調が浸水深、緑の矩形が指定避難場所、経路上の赤い点が避難中の人を表している）

現在では、避難する人による混雑の影響や放置車両などの障害物による影響を表現できる機能を組み込み、車両による避難行動を表現する方法についても検討を進めています。

こうしたモデルを用いることによって、地域の避難計画がどの程度有効に機能するのかを分析・検証することが可能になるほか、地域住民が様々な条件のシミュレーション結果を見ることで、洪水時に自分が遭遇する可能性のある状態を想像することもできます。また、洪水による人的被害をある程度定量的に表現することができるため、人的被害を最小にするためには、限られた資源の中で何をすればよいのかといった設計問題を設定して、解くことが可能になります。図-7は、対象とする地域の避難成功者数を最大化するために、どの避難路をどれだけ高上げればよいのかといった問題を、避難を開始するタイミングと、嵩上げに用いる土のボリューム（経費に相当）の制約を変えながら解いた結果をまとめたものです。図から、10分程度早く避難することと同等な避難成功率を達成するには、250万立方メートルを用いた避難道路のかさ上げが必要となることが分かります。こうした分析を重ねることで、今まで計測が困難といわれてきたソフト対策の効果を定量的に把握し、ハード対策との補完関係を明らかにしていくことができます。

また、以上のような、洪水被害軽減システムに関する新たな考え方は、対策のどの部分までを河川の管理者が担当するのか、土地利用などの街づくりとの関連はどうあるべきか、様々なレベルの行政・地域・個人で責任と損害の分担は以下にあるべきかなど、社会の枠組みを問い直すことになります。洪水リスクマネジメントに限らず、水循環を制御し、水と持続可能な付き合いをすることは、科学技術と社会制度がうまく連携して初めて可能になります。こうした観点から、洪水対策や、治水・利水のためのダム操作に伴う責任や、損害の補償と救済の在り方について、科学と行政法学、両方の視点から検討する試みも進めています。

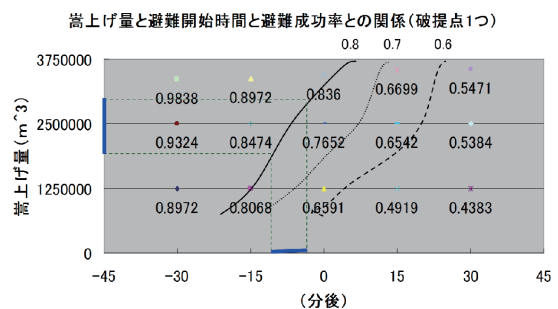


図-7 避難道路の高上げ量と避難開始時刻・避難成功率の関係（実線・点線・波線が同じ避難成功率を与える等高線）

スタッフ紹介

椎葉 充晴 (しいば みちはる)

水工学講座 水文・水資源学分野 教授



椎葉充晴先生のご専門は水文学です。椎葉先生の研究成果のひとつとして OHyMoS というモデリングシステムの開発が挙げられます。この OHyMoS の理念は日本の水工シミュレーションが抱える問題を解決するために国土交通省が開発した CommonMP というシステムに活かされています。OHyoMoS は 20 年

も前から開発されており、まさに時代が椎葉先生にやっと追いついてきたのだと言えます。時代の先を行く椎葉先生の趣味は天体や植物鑑賞、スマートフォン、果ては芸能ネタまで広がっています。

椎葉研は院生室に炬燵があり、まったりしていることで有名ですが、週 2 回みっちりゼミを行う真面目な面もあります。学生は椎葉先生からの指摘を楽しみにしつつ、また恐れつつ毎回研究発表しています。椎葉先生は理論や数式の展開をととても大事にされており、少しでも数式に曖昧な点があれば納得いくまで質問を投げかけます。数式のスライドを入れて何事もなく発表を終えた学生はいないと思います。

椎葉先生はどの学生に対しても平等に優しく、しかし必要ときには厳しく接して下さいます。そんな先生の元で勉強することができてとても幸せです。これからも多くの学生に同様に接していただきたいです。

(修士課程 2 年 高橋 円)

【略歴】

1949 年 長崎県に生まれる
1972 年 京都大学工学部卒業
1974 年 京都大学大学院工学研究科修士課程修了
1974 年 京都大学工学部 助手
1985 年 京都大学工学部 講師
1986 年 京都大学工学部 助教授
1995 年 京都大学防災研究所 教授
1997 年 京都大学大学院工学研究科 教授
2002 年 京都大学地球環境学堂 教授
2007 年 京都大学大学院工学研究科 教授

現在に至る
京都大学工学博士

【受賞】

2003 年 水文・水資源学会学術賞

【著書】

『エース水文学』朝倉書店
『例題で学ぶ水文学』森北出版
『CommonMP 入門—水・物質循環シミュレーションシステムの共通プラットフォーム』技報堂出版

西藤 潤 (さいとう じゅん)

応用力学講座 准教授



西藤潤准教授は、2007 年に京都大学工学研究科博士後期課程を修了後、地殻工学講座ジオメカトロニクス分野の助教に就任され、昨年度 6 月より応用力学講座に准教授として着任されました。西藤先生は、トンネル工学、数値計算工学を専門に研究されています。現在は、准教授として講義を行う傍ら、研究とともに学生の指導にも取り組んでおられま

す。

先生は、研究室の学生と年齢が近いことから、学生の目線に立って研究の指導をして下さったり、居心地の良い研究室環境を整えて下さったりと、大変お世話になって

おります。特に、ピザパーティーやボーリングなど学生以上に楽しんでおられたのが印象的です。しかしながら、ゼミなどの際には年の近さを感じさせない、知識の深さに常に感嘆と尊敬を覚え、先生の指導についていこうと奮起させられました。

応用力学講座には、現在スタッフが西藤先生 1 人なので、学生への指導含め、すべて 1 人でこなされています。それでも、論文提出の折などには一緒に泊りこんで執筆作業を見守ってくださり、大変心強く感じました。

時に親身に、時に厳しく指導して下さった西藤先生に多大なる感謝を表するとともに、先生が今後もご活躍されることをお祈りしております。これからも応用力学講座をよろしくお願いいたします。

(修士課程 2 年 荒木 啓喜・小野 耕平)

【略歴】

鳥取県鳥取生まれ、鳥取県立鳥取西高等学校卒業
2001 年 京都大学工学部地球工学科卒業
2003 年 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了
2007 年 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻博士後期課程修了
同年 4 月 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 地殻工学講座 ジオメカトロニクス分野 (現、資源工学講座 計測評価工学分野) 助教に着任
2010 年 6 月 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 応用力学講座 准教授に昇任

院生の広場

院生紹介

白井 秀和
(博士後期課程 1年)



私は、都市社会工学専攻・河川流域マネジメント工学講座に在籍しております。

今日、我が国では、河川管理において、治水や利水という観点だけでなく、環境についても考慮していくことが求められております。河川では、水の流れと共に河床の土砂が

輸送されるため、水流の時空間的な変化が河床・河道変動をもたらし、それと同時にこの河床・河道形状の変動が水の流れを変え、相互に影響を及ぼし合っています。このような水の流れと河床・河道の形状は、河川環境を決める重要な物理的ファクターとなるため、河川環境を考えていく上で、水の流れ

と河床・河道変動がどのように進行していくかを理解することは非常に有用であると言えます。

こうした背景から、私は、実験及び数値解析を通して、河川流と河床変動のメカニズムを解明することに取り組んでいます。その一環として、河川構造物である水制や落差工周りの流れと河床変動に関する研究を行っており、水制や落差工などの河川構造物の存在が流れと河床形状にどのような影響を与えているのかについて検討しております。この研究成果の一部は、昨年9月に北京で開催された国際会議 River Coastal and Estuarine Morphodynamics 2011 で発表しております。今後は、構造物周りの複雑な現象をより正確に再現していくために、流れ及び河床変動モデルの更なる改良についても検討していく予定です。

大橋 英紀
(修士課程 1年)

私は、グラウトの注入解析を行っています。グラウティングとは、トンネルやダム建設の際に地盤・岩盤の遮水および、強度補強を目的として、セメントなどの薬液を注入するものです。このグラウト注入の施工時において、注入量、時間、圧力などの施工パラメータは現場技術者の経験に依存しているのが現状です。より効率的に、より効果的に注入を行い、注入予測・効果の検証を行うためには、グラウト注入のメカニズムの解明が必要となってきます。そこで、原位置におけるボーリング情報をもとにして、モデルの構築を行い、予測数値解析を行いました。その後、原位置において、注入孔から左右および下方2mの場所に観測孔を掘削し、注入試験を行いました。この結果から、フィードバック解析を行い、モデル

の再評価を行っているところです。

また、昨年8月タイ・バンコクで行われた第10回東南アジア岩盤工学シンポジウムにおいて発表を行いました。初めての国際学会への参加であり、自分の研究について様々な視点から刺激を受けることができ、今後に向けてよい経験ができたと思います。

今後は、このフィードバック解析をもとに、本モデルの改良を行っていく予定です。



沢 一馬
(修士課程 1年)



私の所属する景観設計学分野(川崎研)では公共空間のデザイン検討、構造デザイン、土木史、景観特性の分析など多岐にわたるテーマを取り扱って

います。なかでも私は、琵琶湖沿岸の昔ながらの美しい水郷景観が残る集落を対象に、明治以降の水路構造や人々の水利用の変遷を調査し、今後の景観保全と地域づくり

に向けた情報の蓄積を行っています。これらの水路は農業用水としてだけでなく、舟運や生活用水としての重要な役割を担っていましたが、近代化の中で役割が失われてきました。一方で近年、人々の憩いの場や地域の観光資源として見直されつつあります。この歴史的景観をどのように守り活かし地域活性化につなげていくかが私の課題です。

研究の方法として文献や図面史料調査とヒアリング調査を行います。現地には調査で何度も足を運びますが、その度に地元の方に新しいことを教えていただき、楽しく研究しています。研究成果を学会で発表するのももちろん、地域の方々にも成果報告を行うなど、知見を共有する一方で、将来どのように保全・活用するか意見交換を行っています。

東西南北

受賞

塩見 康博, 宇野 伸宏, 嶋本 寛 (都市社会工学専攻 交通情報工学研究室) 倉内 文孝 (岐阜大学) 山本 浩司 (中日本高速道路株式会社) 田子 和利, 土橋 淑彦 (名古屋電機工業株式会社)	第10回 ITS シンポジウム 2011 優秀論文賞 (授与団体: 特定非営利活動法人 ITS Japan) 「個人属性を考慮した高速道路図形情報板の判読特性に関する研究」
---	--

平成 23 年度都市社会工学専攻 HUME 賞

HUME 賞は都市社会工学専攻が優秀な修士論文を提出した学生に対して授与する優秀修士論文賞 (Honorable Urban Management Engineering Prize) のことで、例年、専攻教員による厳正な審査 (一次審査および二次審査) を通して選定した若干名の学生に賞状と記念の盾を贈っています。平成 23 年度も 2 月 15 日の修士論文公聴会および 2 月 16 日の修士論文審査会において審査が行われ、4 件が選定されました。平成 23 年度 HUME 賞受賞者と論文タイトルは次の通りです。

受賞者氏名	論文タイトル
安部 雅宏	ナイル川全流域における多国間水資源開発コンフリクトに関する研究
梶原 大督	土木計画におけるナショナリズムの役割に関する研究 — 東海道新幹線を事例として —
寺澤 広基	磁気法片面診断を用いた鉄筋損傷の確率論的評価に関する研究
峠 嘉哉	陸域水循環モデルによるアラル海流域における灌漑地拡大の影響再現



訃報

平成 23 年 11 月 2 日、小尻 利治 教授 (都市社会工学専攻 地域水環境システム計画分野) が逝去されました。

専攻カレンダー

3 月 26 日	学位授与式
4 月 9 日	前期講義開講
6 月 18 日	創立記念日

大学院入試情報

■平成 23 年度実施 2 月期入試情報 (結果)

平成 24 年 2 月 13 日(月)・14 日(火)または別途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 (外国人別途選考を含む) 10 名
- 博士後期課程: 第 2 次 (4 月期入学) 15 名
- 博士後期課程: 外国人留学生 (融合工学コース「人間安全保障工学分野」、10 月期入学) 4 名

専攻主催、共催の行事

■大学の世界展開力強化事業「強靱な国づくりを担う国際人育成のための中核拠点の形成—災害復興の経験を踏まえて—」

Opening Symposium を下記の通り開催しました

日時: 平成 24 年 3 月 14 日(水) 13:00-18:00

場所: 京都大学桂キャンパスローム記念館ホール

主催: 京都大学大学院工学研究科

共催: 京都大学大学院地球環境学堂, 京都大学経営管理大学院, 京都大学防災研究所

後援: 国際協力機構 JICA

担当教員: 天津宏康 都市社会工学専攻 教授

編集後記

関係各位のご協力により人融知湧 Vol.4 を発行することができました。広報委員会一同、御礼申し上げます。本号の特集記事として、H23 年度地球工学科国際コース長の杉浦先生に、京都大学における教育の国際化について執筆して頂きました。記事にございますように、現在、地球系専攻だけでも複数の国際教育プログラムが動いています。我が国の国内市場において過去に見られたような大幅な成長を望むことが難しい現状で、海外における事業の重要性は高まっており、教育の国際化は重要な課題であると思います。最後に、ご執筆いただきました皆様に改めて御礼申し上げます。 記: 古川 愛子