

平成 30 年 12 月 28 日

## 平成 29 年度若手教員在外研究助成 成果報告

大学院工学研究院 環境循環システム部門 岩盤力学研究室  
助教 福田大祐

本報告では、平成 29 年度若手教員在外研究助成により在外研究を行うことにより得た研究成果・新たに構築したネットワーク及び海外生活体験について簡単に報告いたします。

### 記

#### 1. 渡航期間：

2017 年 11 月 1 日 ～ 2018 年 9 月 30 日

#### 2. 渡航先：

オーストラリア，University of Tasmania, (以下 UTAS) ホバートキャンパス

#### 3. 渡航（研究）目的：

私は、資源開発や土木工学において重要な発破等による岩質材料の高速破砕法の制御・最適化に関する研究テーマの下、爆燃や爆轟といった高速な燃焼現象を用いた高速荷重に伴う岩質材料の複雑な破壊プロセスを対象として、各現象において岩質材料を『思い通りに壊す』ために重要な因子の解明を目指しています。発破を思い浮かべて頂ければ想像し易いと思いますが、高速荷重に伴う岩質材料の亀裂進展は、極めて複雑かつ高速なプロセスです。現在は、これを高度にシミュレート可能な高速破壊プロセス解析シミュレータの開発に力をいれています。

何故渡航先がタスマニアと思われる方もいらっしゃると思いますが、理由は簡単で、在外研究の受け入れ教員である LIU 博士が UTAS に所属していたからというだけの理由です。UTAS 自体に興味があったかと言えば、当時はほとんど無かったというのが正直なところです。LIU 博士はスウェーデンの発破工学研究（私の専門でもあります）の名門である Lulea University of Technology (LTU) において Mining Engineering (学位論文は Mechanical rock cutting による岩石の破壊プロセスのモデル化に関する研究) の分野で学位を取得され、その後、LTU や豪州の大学 (University of Sydney や University of Queensland) でポスドク研究員を数年間続けられた後、現在の所属大学である UTAS の Lecturer (現在は Senior Lecturer) として着

任し、現在まで UTAS で研究をされています。LIU 博士とは、札幌で 2014 年に開催された ARMS8(The 2014 ISRM International Symposium - 8th Asian Rock Mechanics Symposium)と呼ばれる岩の力学に関する国際会議で、私が LIU 博士の発表の司会を偶然担当した際に出会いました。その際、LIU 博士の発表は、独自開発した The Combined Finite Discrete Element (以下 FDEM)法のシミュレータを用いた発破の複雑な高速破壊プロセス解析に関するもので、当時、私が独自に開発していた DFPA 法という岩石の高速破壊プロセスシミュレータでは扱いたくても扱うことができなかった複雑な岩石・岩盤の破砕プロセスを高度にシミュレートすることに成功していました。その際、当時の私の正直な感想は、『全部では無いが正直先を行かれた』というものでした。同時に、FDEM 法と DFPA 法の利点を組み合わせ、より高度な岩質材料の破壊解析シミュレータを構築できれば、発破だけでなく、“亀裂進展（制御）”が重要となる岩盤工学において大きなインパクトがあるとも考えました。実際、若手教員在外研究助成プログラムの滞在先としていくつかの海外の大学から滞在許可を頂いたのですが、上記のような背景、さらには家族を連れて行くことや助成プログラムの助成額なども考慮し、結局 UTAS を訪問することにしました。

#### 4. 渡航の準備：

渡航に際して最も重要な準備の2つは、長期滞在許可証（ビザ）の取得と住む場所の確保だと思います。私の場合、妻と娘(当時2才)も一緒に渡航することに決めていたため、以下はその場合になります。私の場合は、Subclass 408 Temporary Activity visa というビザに申請しました。今後豪州長期渡航をされる方の参考として、必要となった書類を列挙いたしますと、“UTAS からの公式な長期滞在受け入れ証明書(Invitation Letter)”, “本在外研究の助成額（英語翻訳版）”, “渡航者全員分のパスポートのコピー”, “戸籍謄本のプロによる英語翻訳”, “学士・修士・博士の学位証明（英語翻訳版）”, “オーストラリアで研究を行えるレベルの研究者であることを示す文献として 1st author で出版した英語論文のコピーを 2 本程度”, “UTAS に提出した Curriculum Vitae(CV)”, “北大に雇用されているという証明（英語翻訳版）”, “過去数年間の給与証明（英語翻訳版）”及び“渡航者全員分の豪州滞在全期間をカバーした Overseas Visitors Health Cover Insurance（いわゆる健康保険）の加入証明書”が必要になりました。あとは、オンラインで非常に手間を必要とするビザの申込みを行って約 1 ヶ月半後にビザが発行されました。

さて、タスマニアも豪州の一部、つまり、物価（特に家賃）については、豪州では比較的安いと言われるものの、妻一人・娘一人がそれなりに 1 年間ストレス無く住めて、家具も付いている家を借りるとなると 550~600AUD/Week が必要（インターネット代、食費や高額な電気代は別）となり、恐ろしく高額であることがわかったため、結局 Airbnb（民泊）を利用して、420AUD/week 程度（電気代・インターネット利用可・ホストファミリーと望めば好きだけコミュニケーションが取れる、帰国の際に家具の撤去・売却を考えなくて良

い)まで抑えることができました。単身であれば、こういう苦勞も無いと思いますが、家族もつれて”外国人”として豪州に住む場合、かなりの出費が必要になることがわかりました。この理由から、豪州の高額な家賃により北大からの助成金はすべて生活費に使用せざるを得なかったため、本在外研究が決まった直後から、Dr. LIU とのやりとりを通して、豪日交流基金助成金プログラムにも応募し、Link geomechanics groups at Hokkaido University and University of Tasmania ([豪日交流基金](#)←リンクになっています)のプロジェクト名で\$15,400AUDの助成金を幸運にも獲得することができました。これについては後述します。

## 5. 研究成果：

UTAS では、LIU 博士の開発した FDEM 法のシミュレータに、私が DFPA 法の開発で得た独自のノウハウを組み込むことで改良できれば今後よりクオリティの高い International Journal に多くの論文を投稿できるようになるのでは無いかという話を皮切りに、共同研究を進めていきました。FDEM 法では、“岩質材料の連続変形過程”・“連続体～不連続体への遷移(亀裂進展)過程”・“不連続変形過程”を高度にシミュレート可能です。図 1～図 3 に FDEM シミュレーションの例を示します。FDEM 法を用いることで、岩石・岩盤工学上極めて重要な多くの問題を解析することが可能になります。岩石・岩盤の取扱いを難しくしているのは”亀裂”です。この亀裂の挙動(亀裂生成・進展・分岐・連結)を高度に扱うことができる FDEM 法を用いることで、発破の最適化・エネルギー効率の高い Rock cutting 法の模索、岩盤構造物の破壊機構の解明といった岩石・岩盤工学上極めて重要な問題に対して、既往の手法と比較してより高度な視点から取り組むことが可能になると考えています。

他方、FDEM 法では、高度な解析が可能となる代償として、計算負荷がとて高く、高速化(並列化)しないと、工学的に重要な問題の解析には莫大な時間が掛かるという欠点がありました。そこで、私が独自にノウハウを構築していた GPGPU(汎用グラフィックプロセッサ)ベースの並列計算技術を UTAS の FDEM シミュレータに導入し、従来の逐次計算を用いた FDEM シミュレータ比で 130 倍近く的高速化に成功しました。これだけでも論文になると LIU 博士に言われ、現在関連論文 2 本を国際雑誌に投稿中です。また、豪州滞在中に、UTAS の多くの先生から『君も大学教員なのだから、博士課程を使って研究成果を生み出していくことが重要だ』と言われ、実際に UTAS の博士課程学生を 2 名指導させて頂く機会を得ました(注：日本の助教は博士課程を公式に指導はできないと伝えたところ、博士課程学生無しに大学教員としてどうやって研究を進めているのだと本当に驚かれたのは印象に残っています)。いずれにせよ、博士課程の学生 2 名の協力を得られたこともあり、こうした学生さんの博士論文研究の一貫として、上記の論文とは別に、共著者として、3~4 本程度の論文を投稿できる結果も残すことができ、現在、これらの論文の投稿準備を進めています。

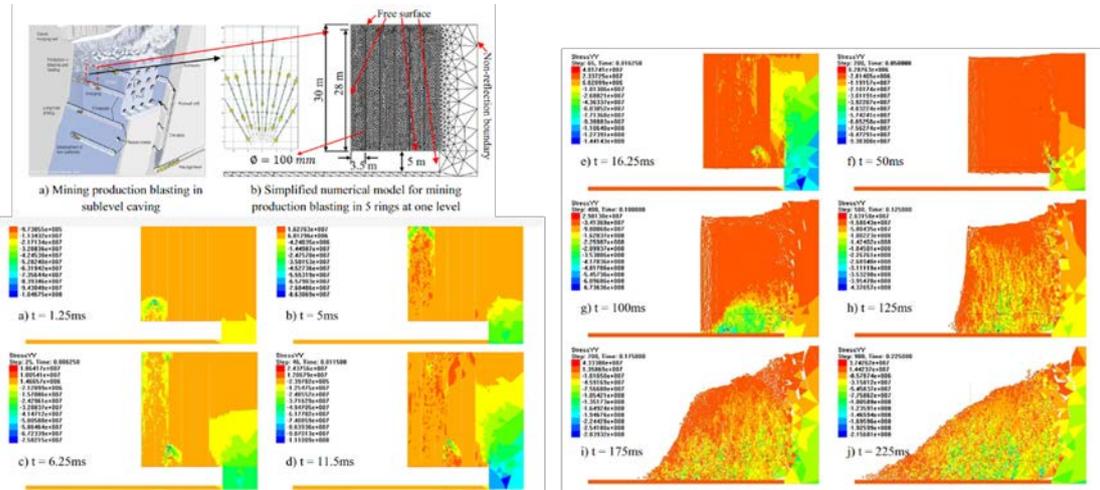


図1 サブレベルケービングを模擬した2次元発破シミュレーションの一例

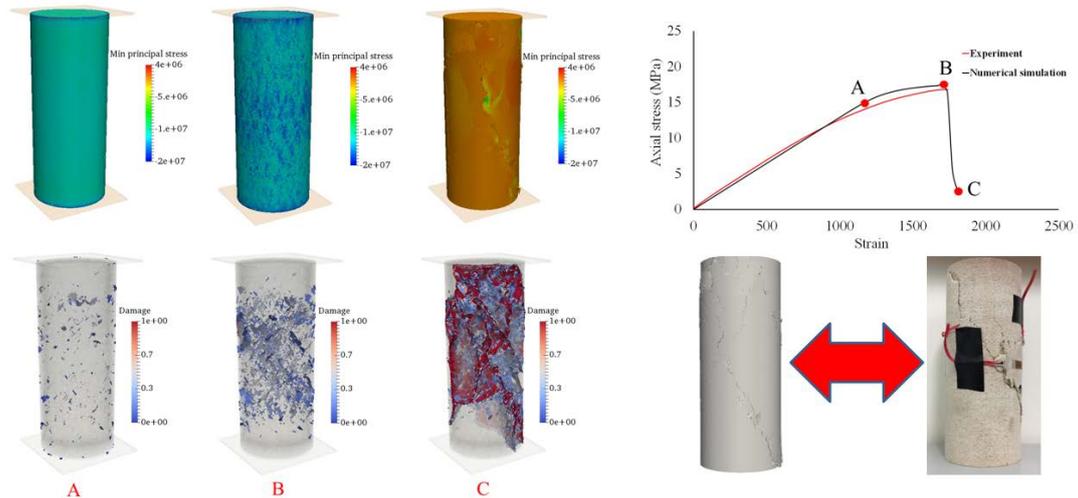


図2 ラボ試験における岩石の3次元の破壊プロセスの詳細なモデル化の一例

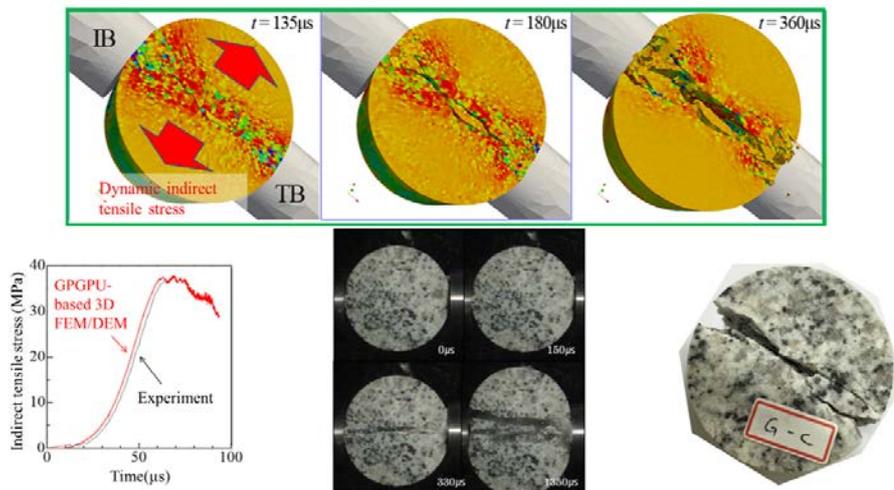


図3 衝撃载荷に伴う岩石の3次元に複雑な破壊プロセスの詳細なモデル化の一例

## 6. 新たなネットワークの構築：

上述した[豪日交流基金](#)を基に UTAS 滞在の総括として、Dr. LIU とともに Brisbane や Melbourne の各大学・研究機関（豪州のトップ研究機関 CSIRO in Brisbane, University of Queensland, Mining3, University of Melbourne, Monash University, CSIRO Energy in Melbourne）を訪問し、私が UTAS との共同研究で生み出した成果を発表しました。これにより、UTAS との強力なネットワークに加えて、CSIRO Brisbane（私の研究分野である発破工学において世界的権威の一人である Dr. Evan Seller に会えたことは私にとって極めて大きな意味がありました）や Monash 大学（高速・衝撃载荷を用いた岩石動的破壊実験で世界トップの実験設備・業績を持つ Prof. Zhao と Dr. Zhang）と共同研究を実際に開始することができた点も非常に大きな成果だと考えています。

## 7. 海外大学公募への応募

研究とは別の話になりますが、豪州滞在中に UTAS で私の研究分野に非常に近い分野での Lecturer/Senior Lecturer の公募があり、私の UTAS 滞在の受け入れ責任教授である工学研究院長の Prof. CHAN（マトリクス有限要素法の著者である O. C. ツィエンキーヴィッツ教授のお弟子さん）からも応募することを勧められました。惜しくも採用とはなりませんでした。数多くの応募者(Long List)の中から Short list に選ばれ、さらには最終面接まで残ることができ、豪州の大学の公募システムについて極めて深く知ることができました。特に、『最終候補者がレストランのディナーに招待され、社交力のチェックを受けたイベント』、『UTAS の教員・ポスドク・博士課程学生の前での研究・教育に対する抱負を述べたプレゼン』及び『1 時間ひたすら Selection Committee から質問（研究抱負、外部資金の獲得計画、教育のストラテジ等）を浴び、適切に英語で返答しなければいけなかった最終面接』という 3 つのイベントがあったことが強く印象に残っています。（注：最終面接候補者に対しては世界のどこにいても旅費を UTAS が支給する点も印象的でした）。また、英語という点を抜いても、日本の大学の教員公募よりも提出する書類が多く、作成にとっても苦労しました。私は、豪州渡航前は、国内の准教授の公募に応募することばかり考えていましたが、今後は国内だけでなく、海外の Lecturer/Senior Lecturer や CSIRO といったトップ研究機関の研究員の公募への応募も視野にいれて助教からのキャリアのステップアップを考えるようになった点は大きな変化であると言えます。なお、上記の UTAS の公募に不採択になった最たる理由を伺ったところ、外部資金の獲得能力が勝敗を分けたということがわかりました。こうした点からも、今後は、科研費は当然のこととして、特に国内外の Industry からも外部資金を持ってこられるように努力していきたいと思うようになりました。特に豪州の大学の工学系の先生方は『*Solutions for Industry*』という考え方を本当に大切にされていることがよくわかり、私も工学研究者の一人として、自分の研究が Industry にどのように貢献できるかを考えるようになりました。

## 8. 海外生活の感想：

初めてタスマニアに到着し、そこから滞在先の住家にレンタカーで移動する際に思ったのは、『北海道道東の田舎道にとっても似ている（良く言えば長閑、悪く言えば本当に何も無い）』ということでした。治安もとても良く、車さえあれば（注：現地で1998年製のToyotaのカムリを中古で購入しました。走行距離は20万kmを超えていましたが滞在中は元気にもってくれました）タスマニア島に多く存在する国立公園に出向き美しい地質や風景を楽しむことができます。知り合いになった豪州人は、これで職があれば最高の場所なのと言っていたくらい住みやすかったというのが印象です。先述したように、豪州はとにかく物価が高いのですが、スーパーマーケットで買い物をする場合に限っては日本と大きくは変わらないと思いました。ただし、外食等は非常に割高となるため2～3回した程度で、豪州滞在中は昼食も含めて原則自炊していました。UTASの教員も昼食は弁当を持参している方が多かったように思います。英語については人によりますが、豪州英語の聞き取りに苦労することもありましたが（特にタスマニア訛りは英語として聴こえないこともあります）、基本的にこちらが言いたいことは伝わったので、全体的な意味ではあまり苦労したとは思いません（日本人同士でも何を言っているのかわからないことはたまにあります）。ただし、IELTS等のスコアで換算して7.0程度は無いと色々苦労もあるのでは無いかと思います。

## 9. 謝辞：

本長期在外研究の機会及び多大な支援を頂いた北海道大学大学院工学研究院（特に研究支援担当様、外部資金担当様）、また、本在外研究に伴う長期の不在に対して寛大な御配慮を頂いた所属部門の皆様に深く感謝致します。

以上