

「国際緊急共同研究・調査支援プログラム (J-RAPID)」の研究事例

災害後、科学が すぐにやるべきこと

科学は時に緊急性を求められる。急がなければデータが取れなくなってしまう場合、あるいは事態が急を要し、すぐさま対策が必要とされる場合……。昨年3月の東日本大震災は、そうしたケースがすべて当てはまる非常事態だった。J-RAPIDは、その対応策としてスタートしたプログラムだ。



液状化現象により浮き上がったマンホール

Case 1 地盤災害の研究・調査

緊急時に素早く対応するために スタートした国際的なプログラム

アメリカの国立科学財団(NSF)には「RAPID」とよばれるプログラムがある。「自国、あるいは他国で発生した天災などの不測の事態に際して、消失する恐れのあるデータを取得する」といった緊急性を要する研究・調査に対して随時申請を受け付け、支援を行うプログラムだ。昨年3月の東日本大震災もこのプログラムの対象となり、NSFは地震と津波や、それにもなっている発生した原子力事故などに関する研究・調査の公募を開始した。

こうした動きに呼応して、JSTは昨年4月、「国際緊急共同研究・調査支援プログラム(通称J-RAPID)」を設立した。アメリカのRAPIDと同様、緊急性があると認められた課題について、随時公募で提案を受け付け(公募の開始と同時に、海外の類似機関にもアナウンスを行い、協力を要請する)、国際共同研究・調査の支援を機動的に行っている。

現在、東日本大震災に関しては、33件の研究課題がJ-RAPIDの支援を受け、NSFのほかにもフランス国立研究機構(ANR)やイ

ンドネシア科学院(LIPI)など、いくつかの国の研究支援機関と協力体制を取っている(既に公募は終了)。ここでは、その中から2つの事例を取り上げ、緊急性を要する研究・調査とはどういふものなのか、国際的な共同研究がどう進められているのかを紹介したい。

埋め立て地の住宅がこれだけの被害を受けたケースは過去に例がない

東京工業大学大学院理工学研究科教授の時松孝次さんは地盤地震工学、建築基盤構造の専門家だ。J-RAPIDでは、時松さんが日本側の研究代表者、カリフォルニア大学デービス校教授のロス・W・ブーランジェさんが相手国側の研究代表者となって、日米共同で液状化などの地盤変状と、各種構造物への影響の把握などを進めている。

液状化とは、水分をたっぷり含んだ砂の地

層が地震動によってバランスを崩し、高まった水圧によって地表に水や砂を噴き上げる現象のことだ。東日本大震災では、東京湾の沿岸部だけでも約4,200ヘクタールの広さで液状化現象が発生し、液状化によるものとしては、世界最大の被害をもたらした。

その中でも千葉県浦安市では市内の85%で液状化が発生した。上下水道などのライフラインが壊滅状態に陥り、戸建て住宅の被害も甚大だった。時松さんは語る。

「今回の震災では多大な犠牲をとまいません。同じような災害を二度と繰り返さないためには、そこで何が起きたかのかを、しっかり把握することが非常に大切です。特に埋め立て地の住宅がこれだけ被害を受けたのは、過去に例がありません。ですから、被害をつぶさに調査して、何が起こったかを、早急に調べることが重要だと考えました」

時松さんは、震災翌日の土曜日、10人ほどの学生や博士研究員たちを班分けし、横浜市から千葉市までの、東京湾沿岸の被害状況を調査した。そして浦安市の被害がもっとも大きいことがわかると、2日目には全員で浦安市に向かい、被害状況の調査に取りかかった。「日本では沖積平野や埋め立て地に都市が広がっています。そうした地域は地盤が関係した被害を受けることが多いのですが、地盤はまさに社会基盤ですから、復旧も早いのです。従って、改変、補修がなされる前に、速やかに調査する必要があります」

調査の内容は、地震によってどのくらい地盤が沈下したのか、被害を受けた建物がどの



何が起きたかを
はっきり把握する
ことが重要です。

時松孝次

ときまつ こうじ

1979年、東京工業大学大学院社会開発工学専攻博士課程修了。工学博士。同大学工学部建築学科助手、カリフォルニア大学バークレイ学校客員研究員などを経て、93年、東京工業大学理工学部建築学科教授、2000年から同大学大学院理工学研究科建築学専攻教授。

ように傾斜しているのか、あるいは被害がどう分布しているのかなど。住宅の被害に関しては、時松さんが震災後に浦安市に設置された液状化対策技術検討調査委員会の委員を務めていることもあって、かなりのデータを集めることができたという。

「市の調査ということで、簡単には得られないような情報も提供してもらいました。地盤変動についても、地震前に航空レーザー写真測量が行われていたので、地震後にも行い、その差を取ることで、地盤の沈下状況を調査しました。そうしたデータを総合して、液状化の程度と建物被害の関係を、今調べているところです」

液状化に対する基準を作るには まず被害のしっかりした調査を

時松さんのような分野の研究者にとって、災害後の地盤状況を理解するためのデータ収集は、是非ともやらなければならない調査の1つだ。特に、これまでにない新しい形態の被害が出た個所に関しては、今後の対策につなげるためにも、極力データを集めることが望ましい。

「とにかく、住宅がこれだけ大規模な被害を受けたのは今回が初めてのケースでした。東日本大震災では、本震が2、3分間あって、それから30分程たって余震がありました。本震で弱くなった地盤に、余震が追い打ちをかけるようにダメージを与えたのではないかと。まだ結論は出せませんが、そういう見方が出てきています」

たとえば、本震では倒壊しなかったRC構造の建物が、余震で倒れてしまったというケースもある。それと同じようなことが、地盤の液状化現象において起きて不思議はないということだ。

ちなみに現在、ビルであれば、設計段階で液状化対策が検討される。しかし、一般の住

●東日本大震災直後の日米合同チームによる調査(香取・浦安・潮来)



アメリカ側
研究代表者
ロス・W・ブーランジェ教授
カリフォルニア大学
デービス校
土木環境工学科

地盤は、地震のないときも微小な振幅をもって揺れている。この微動を計測・分析することで、地盤の特性や、地震発生時の揺れの様子を把握することができる。写真上は、一度に複数の地点の微動を観測できる「多点微動計」。地盤の調査に使用される。

宅の性能表示に、その対策の有無は含まれていない。

「今回の震災の経験から、一般住宅にも入れられないかという話が出ています。しかし、そのためには客観性が必要です。住宅地の液状化の可能性をどう判定するか、基準を厳しくするにしても、どう厳しくするのか。性能表示に反映できるような新しい基準を作るためには、まずは被害をしっかり把握すること。そのために、できるだけ早く調査する必要があるのです。J-RAPIDのように、緊急でやるべきことを支援してくれるプログラムは、非常にありがたいですね」

別種の発想に刺激を受けて さらに新しい視点を取り入れたい

J-RAPIDの支援のもとで、時松さんがタグを組むブーランジェさんとの間柄について、時松さんは次のように語る。

「アメリカのRAPIDの支援を受ける地盤工学系の研究者の多くが知り合いです。その1人がブーランジェ氏で、3月11日の震災直後に、彼から「調査に協力する」というメールが来ました。彼らは3月25日に来日して、すぐに調査レポートをまとめました。このようにJ-RAPIDが始まる前から協力して、一緒に調査・研究を行い、それが現在も続いています」

国際レベルで共同研究を行うメリットは、どこにあるのだろう。

「やはり、研究に対する切磋琢磨、あるいは刺激ですね。いい研究者に触れる経験も大きいでしょう。発想も違いますから、その組み合わせによって、新しい視点や知見が出てくれば、と思っています」

昨年11月にも、アメリカの研究者たちが関東・東北の地盤調査のために来日した。時松研究室の学生2人が同行して、およそ2週間の現地調査を行った。



Case 2 レスキューロボットの開発



日本が開発した“Quince (クインス)”



アメリカが開発した飛行ロボット
“Pelican (ペリカン)”

阪神・淡路大震災を契機に生まれた 災害対応のレスキューロボット

前述の研究は、データの収集という意味で、まさしく緊急性を要するものだったが、次に紹介する東北大学大学院工学研究科教授の吉田和哉さんが取り組む研究テーマは、いささか性質が異なる。データ収集というよりも、災害現場などで活用する新しい技術の創出を目的としているからだ。

吉田さんの専門は「極限ロボット」。人間が行き着けない極限環境で、さまざまな作業を行うロボットの研究だ。小惑星「イトカワ」からサンプルを採取して地球に帰還した「はやぶさ」のプロジェクトにも、立ち上げから参加した。「宇宙探査ロボットの研究者」というイメージの強い吉田さんだが、実際には別の思いを抱いている。

「宇宙探査ロボットの開発は“将来の夢”の領域です。しかし、ずっと夢を見ているだけではなく、技術開発したものを社会に役立てなければならぬ。そういう思いも強くありました」

吉田さんは、より実用的なレスキューロボットの研究も、同大学准教授の永谷圭司さんと共に進めていた。

そのロボットの必要性が認識されたきっかけは、1995年の阪神・淡路大震災だ。当時、神戸大学に在籍していたロボット工学者の田所諭さん(現・東北大学教授)、松野文俊さん(現・京都大学教授)らが中心となり、「震災対応にロボット技術を生かそう」と、レスキューロボットの開発に力を注ぐようになった。

開発した技術を
現実に生かしたい。



た。

「その後、田所先生が東北大学に赴任され、さらに千葉工業大学の小柳栄次先生や私たちも加わるなど、実用的なレスキューロボットの研究は広がりました。その成果の1つが『クインス』というロボットです」と吉田さん。

「クインス」は、2009年のロボカップレスキュー世界大会で優勝し、がれき上の走行や、階段や坂を上る性能などで、アメリカ製のロボットを圧倒した。

災害が起きる前からシステムを 作っておかないと間に合わない

東日本大震災が起こったとき、レスキューロボットの研究者たちは、「クインス」を災害現場に投入できないかと考えた。

「ただ、災害というのはあらかじめ想定していた通りには起きません。現場の状況は災害ごとに異なり、まさに千差万別です。今回の場合は津波の被害が甚大でしたが、『クインス』の開発では地震動による半倒壊の建物内で人命探査を行うことを主に想定していました」

しかし、福島第一原発の事故においては、「ここでなら役に立てるはずだ」という思いが、全員の頭をよぎった。当初は国や現場関係者との接点がなく、そのルートづくりから始めなければならなかったため、実際の投入までにかかなりの時間がかかってしまった。

しかもその間に、アメリカで量産されている「バックボット」が福島第一原発の現場に入り、あちこちから「日本のロボットはどうした?」という声が上がった。

「大学の研究室には、すぐにでも現場に持って行ける基盤技術はあったのですが、実際にロボットを動かすのはロボット研究者ではなく、原発の現場の人たちです。ですから、いざ

という時に役に立つシステムとなるためには、災害が起きる前から操縦性も含めて、システムを作っておかなければならなかったのです。そのことを痛感しました。今回、もっとももどかしかった部分です」

2つのロボットがお互いの 弱点を補い、利点を強調する

しかし、いざ「クインス」が投入されると、「バックボット」が行けなかった原発建屋の2～5階に昇り、現場の様子を初めて明らかにするなどの成果を上げた。そうした機動性をさらに高める目的でスタートしたのが、J-RAPIDの支援を受けてアメリカと共同研究を行っている「飛行ロボットによる自律探査と地図生成」だ。

これは日本の「クインス」と、ペンシルバニア大学教授のビージェイ・クマーさんが中心に開発した飛行ロボット「ペリカン」を合体させる研究だ。「ペリカン」は高度なラジコンのヘリコプターで、驚くほど機敏かつ正確に、反転や方向転換、障害物を避けながら飛行し、地図作成のためのデータ収集などを行い、飛び立った地点に自動で戻る。大きな弱点は、バッテリーの都合で10分程度しか飛び続けることができないことだ。8階建ての建物内部を1階から8階まで、10分以内でくまなく探査して戻ってくるのは不可能だ。

一方の「クインス」は“世界一の移動ロボット”といっていいほどの性能を誇るが、垂直の壁は、どう頑張っても登れない。

「それならば『ペリカン』を、『クインス』で運んでやろう。『クインス』が空母のような役割となって、走行移動できるギリギリの場所まで行く。どうしても越えられない壁があれば、そこから先は飛行ロボットを飛ばして向こう側を

吉田和哉

よしだ・かずや

1986年、東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了。工学博士。東京工業大学工学部機械物理工学科助手、米国マサチューセッツ工科大学客員研究員、東北大学工学部機械航空工学科助教授を経て、2003年から東北大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻教授。

見る。そうした2つのロボットの組み合わせ方をすることで、互いの利点を生かし、弱点を補い合うことができると考えたのです」

実際にやってみて 改めてメリットの大きさを実感

実験は昨年7月、クマーさん率いる「ペリカン」のチームが来日し、東北大学で行われた。大学は丘の上であり津波の被害こそ受けなかったが、高層の建物3棟が損壊し、立ち入り禁止になっている。その中でも特に損傷の激しい電気棟のペントハウスを「現場」として、実証試験をしたのだ。

2つのロボットを合体させるためには、事前にかかなりのすり合わせが必要となり、そのためのやりとりはすべてEメールで行った。

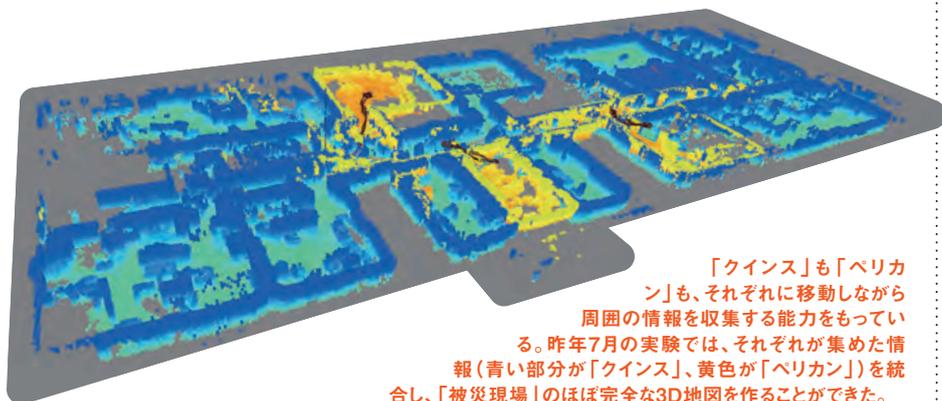
たとえば、「クインス」から「ペリカン」を離着陸させるためには、専用のプラットフォームを取り付けなければならない。このプラットフォームはアメリカ側が作ってきたが、サイズのにも強度的にも、そのまま使うことはできず、現場処理でなんとか合わせ込んだ。

「とりあえず、できるところからやってみようと、チャレンジしました。2つのロボットが取ってきた情報を融合することで、うまく現場の地図を作成することもできました」と永谷さん。

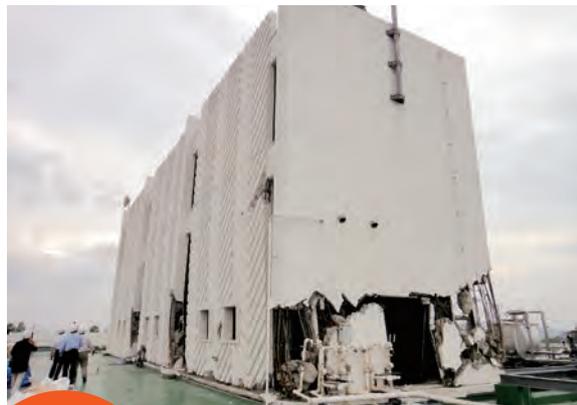
しかし、まだまだ改善すべきことも多い。例えば今回は操縦者がその場でロボットを見ながら動かしていたが、このままでは原発などの過酷な状況では使えない。地図情報の融合も実験後に行われたが、その場で地図を作り、遠隔地にいるオペレータがそれを見てロボットを動かせることが理想だろう。

「それでも実際にやってみて、この2つのロボットを組み合わせるメリットはすごく大きいと、改めて実感しました」と、吉田さんは言う。

●「クインス」+「ペリカン」の計測データを統合し、作成した地図の一例



●被災した東北大学での共同実験



アメリカ側
研究代表者
ビージェイ・クマー 教授
ペンシルバニア大学
工学・応用化学研究科
GRASP研究所



東北大学大学院
工学研究科
永谷圭司
准教授

いつでも、どこでも使えるには クリアすべき課題が多い

日本とアメリカのロボットの合体という、国際的な共同研究でなければできない実験だけに、J-RAPIDにうってつけのテーマだ。今後は、どのような展開が考えられているのだろう。

▲
アメリカとの合同実験は「向こうとこっちのロボットを何とか合わせるのに1日。向こうが現場で単独で動かしたのが1日。そして、合体させて動かしたのが1日」（永谷さん）というスケジュールで進められた。地図づくりには成功したが、時間的制約から日本とアメリカがそれぞれにロボットを動かすスタイルだったので、協調動作については課題が残るという。

「新しい可能性はかなり見えてきました。しかし、いつでもどこでも使える技術として世に出すには、信頼性の問題や操縦性の問題、それぞれのロボットがもつ自律性の問題など、クリアしなければならない課題はたくさんあります。移動だけではなく、通信手段が限られるなど、いろいろな制約条件がある中で『何が、どうできるか』と、組み合わせを考えていくことも大事です。いろいろと場数を踏むことも重要となるでしょう。アメリカに限らず、自分にはない技術をもつグループとの共同研究は、非常にメリットが大きい。それぞれがいちばん得意な部分をぶつければ、きっと課題は解決すると思っています」■