

IAEG Bulletin紹介 (27)

地すべりの「早期警報システム」に着目して

国際委員会 国際委員
加地広美

1. はじめに

IAEG Bulletin紹介の第3シリーズは「海外論文を紹介するだけでなく、日本の視点・海外の視点を意識しながら、執筆者独自の視点で紹介する」という縛りがある。第2シリーズで紹介があったようにIAEG Bulletinには、応用地質学に関わるあらゆるテーマで議論が展開されているため、テーマ選択に悩んでいた。

最近公表された論文のタイトルを眺めていたところ、共通ワードとして「IoT」が浮かび上がった。「IoT」に関する2点の論文は、「LEWS (Landslide Early Warning System: 地すべり早期警報システム)」への活用を検証するものであった。そのため、今回は、「LEWS」をキーワードに、4つの論文を紹介したい。

2. 「LEWS」の低コスト化とグローバル市場展開の可能性

IoTベースの「LEWS」は、これまでに広く開発され、利用されている。しかし、現在稼働している「LEWS」には、一般的に①限られた種類のセンサーに依存するため、予測精度が低い。②機器コストが高い。③固有のシステムを使用しているための2次開発が困難であるという課題がある¹⁾。そのため、Liu et al.¹⁾では、太陽光発電による統合プラットフォームを利用し、低コストで、独立したエネルギー供給による「LEWS」の開発を試みた。

Liu et al.¹⁾では、アナログ容量式土壌水分センサーを用いた斜面の土壌水分測定、マイクロ間隙水圧トランスデューサーを用いた間隙水圧の測定、微小電気機械システム(MEMS)センサーを用いた傾斜角の測定を実施した。これらの測定値から、リアルタイム安全係数(Fs)を算出することで、地すべり発生の危険度(監視状態、警戒状態、発動状態)を発令できるシステムの検証を行った。さらに、2次開発しやすいアプリケーションを搭載し、既存製品との連携が期待できるものとした。

低コストかつ独立したエネルギー供給機能により、本シ

ステムが、グローバルに適用できる可能性があることにも触れられている。

Oguz et al.²⁾では、ノルウェー中央部で実施したIoTを用いた地すべりのモニタリングの事例を紹介している。ノルウェーでは、降雨や融雪水などに起因する地すべりの発生頻度が高く、破壊的な被害をもたらす可能性が高いことから、大きなリスクとなっている。また、降雨が誘因となり発生する浅層地すべりのメカニズムを理解するために、水文モニタリングが広く採用されている。そのため、Oguz et al.²⁾では、水文モニタリングの指標である堆積含水率、土中のサクションおよび間隙水圧を観測し、検証を行った。これらのモニタリングを長期間実施し、物理モデル化することで、避難基準となり得ることが示されている。

IoTは近年、大幅に強化され、さらなる発展も期待される。一方で、地盤工学分野でのWi-Fi、3G、4Gの活用は、十分なされていない。そのため、本研究では、4G公衆モバイルネットワークを採用した最先端のIoT技術を活用した研究を行い、低電力広域ネットワークに基づく4Gベースの通信ソリューションのコスト効率が高く、信頼性が高いことを示した。

3. 「LEWS」による予測時間短縮に向けた試み

地すべり発生に直接関連するパラメーターとしては、地盤変状に関連するパラメーターが最も多く用いられている。しかし、地盤変状に関連するパラメーターを早期警報の指標として用いる場合は、警報発令から地すべり発生予測までの時間(リードタイム)が限られており、監視する不安定領域を「完璧に」特定する必要がある。一方、降水の特徴や土壌の湿潤状態に関連するパラメーターを採用することで、リードタイムを長くすることができる上、調査対象地域を広範囲にカバーすることができるという利点がある³⁾。

Rianna and Pagano³⁾では、シルト質火山灰層での、降雨による地すべり発生を評価するための早期警報予測ツールを提案している。この早期警報予測ツールは、蒸発量と降雨浸透量の推定手順を簡略化したことにより、地すべり

発生予測に要する時間の短縮が可能となった。

Wang et al.⁴⁾では、三峡貯水池の丹家湾地すべりでの水文パラメーター（土壌水分量と地下水位）と変形パラメーター（表面変位と地下変位）を観測し、これらの観測データと降雨との応答関係の分析を行っている。表面変位の観測には、GPS、表面亀裂、GNSSが用いられ、GNSSとの応答関係から、土壌水分量の変化率が地すべり変形の早期警戒指標として利用できることが報告されている。

丹家湾地すべりの変形率および頻度は時間の経過とともに増加しており、地すべりの変動による亀裂が広範囲に広がっている。そのため、本地域では、地すべりの予兆を早期に把握するための「LEWS」機能の向上が求められていることが報告されている。

4. 日本の事例

土砂災害の発生予測には位置・規模・時間の予測が必要となる。国内の事例を見てみると、斜面災害発生「箇所」の予測技術には、広域の地形データから懸念箇所を抽出する手法が広く用いられている。斜面災害発生「規模」の予測技術には、GPS/GNSS、崩壊検知センサー、地上型SAR、震動センサーなどを活用した方法がある。斜面災害発生「時刻」の予測技術には、降雨に基づき予測する手法と、変位計測機器から得られる斜面の変位やひずみに基づき予測する手法がとられている⁵⁾。

適用の簡便さから、国が現在運用している土砂災害予測手法では、統計学的手法が採用されている。過去の降雨と土砂災害発生の関係から、発表基準雨量線（CL）を設定し、地形・地質等の場の条件は、土砂災害発生の履歴から「動的地形平衡状態」にあることを前提としている。警戒情報の信頼性向上に向け、代表的な素因情報をラスタ化し、土砂災害データベースを用いて発生頻度を算出する試みも行われている⁶⁾。また、雨量指標を一律に固定せず、様々な指標の組み合わせで危険度を評価し、土砂災害の危険性を漏れなく把握する警戒情報へのアンサンブル手法活用可能性なども検討されている⁶⁾。

近年、「LEWS」への注目度は高まりをみせており、「LEWS」の機能向上については、国際ネットワーク（LandAware⁷⁾）において活発な議論がなされている。また、2023年9月21日～27日に開催されたXIV IAEG Congress 2023においても「Geohazard Mechanisms, Risk Assessment and Control, Monitoring and Early Warning（地盤災害メカニズム、リスク評価と管理、モニタリングと早期警報）」がテーマの1つとなっていた⁸⁾。

5. おわりに

第3シリーズになり、IAEG Bulletinのさらに深い魅力

を伝えられたでしょうか。筆者は、国際誌に掲載されている論文を読むことで、日本の現状を俯瞰できるので、なるべく読むように心がけている。今後も「国際的な地質工学的課題をテキパキと解決し、各国の要人とも丁丁発止で渡り歩ける地質屋」になるべく、海外の論文を読み続けたい。また、今回紹介した論文の技術が社会実装化され、土砂災害による被害がなくなる日が来ることを望んでいる。

引用文献

- 1) Liu, Y., Hazarika, H., Kanaya, H., Takiguchi, O. and Rohit, D. M. (2023) : Landslide prediction based on low-cost and sustainable early warning systems with IoT. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 82, doi : 10.1007/s10064-023-03137-z
- 2) Oguz, E. A., Depina, I., Myhre, B., Devoli, G., Rustad, H., and Thakur, V. (2022) : IoT-based hydrological monitoring of water-induced landslides : case study in central Norway. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol.81, doi : 10.1007/s10064-022-02721-z
- 3) Rianna, G., Reder, A. and Pagano, L. (2023) : From empirically to physically based early warning predictions of rainfall-induced landslides in silty volcanic soils : the Lattari Mountains case study. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 82, 10.1007/s10064-023-03228-x
- 4) Wang, L., Chen, Y., Wang, S., and Guo, F. (2022) . Response of landslide deformation to rainfall based on multi-index monitoring : a case of the Tanjiawan landslide in the Three Gorges Reservoir. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol.81, doi : <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02732-w>
- 5) 佐藤 渉. 斜面災害予測技術 (2013) : ((特集) 近年における斜面災害). 地盤工学会誌, Geotechnical engineering magazine, 土と基礎, 盤工学会会誌編集委員会編, Vol. 9, No. 9, pp. 10-13.
- 6) 気象庁 (2023) : 国による土砂災害の予測技術について, https://www.jma.go.jp/jma/kishou/shingikai/kentoukai/arikata/part3/siryoush-2_3.pdf, (2023年10月19日閲覧)
- 7) 矢部 満・濱田俊介・信岡 大 (2023) : 地すべり早期警戒に関する国際ワークショップへの参加, 日本地すべり学会誌, Vol. 60, pp. 33-36.
- 8) 2023 The XIV Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment (2023) : XIV IAEG Congress 2023, <https://www.iaeg2023.org/>

国際委員会からのお知らせ

IAEG Bulletinは、国際会員になれば購読することができます (年会費：4,500円)。

国際会員の入会案内

<https://jseg.or.jp/02-committee/international.html>

なお、IAEG BulletinのAbstractは、下記URLよりどなたでも閲覧できます。

IAEG Bulletin Abstract閲覧

<https://www.springer.com/journal/10064>