

地震災害予測のための地球観測データのデジタルアースへの適用 -複合解析情報可視化の高度化と軽量化-

長尾年恭*、楠城一嘉**、鴨川仁**、井筒潤***

*東海大学海洋研究所、**静岡県立大学グローバル地域センター、

***中部大学中部高等学術研究所国際 GIS センター

1. はじめに

現在、住民が避難行動に移れるほどの地震の確度の高い予測は困難であると考えられているが、日本国内では様々な地球物理学的観測が世界でも類を見ないほど稠密に行われており、2011年東北地方太平洋沖地震でも前兆現象の可能性がある様々な現象がその観測網でとらえられていた(文献:1)。これらの現象を中部大学のデジタルアースサーバ上で常時モニタリングするサービスを開発し、地下の様子を知り、地震発生の危険性を把握し、その危険性を地域で共有することが本研究の目的である。

これまでの研究では2011年東北地方太平洋沖地震でも地震前の前兆的な変動が見られた b 値分布の計算(平成26年度)および地殻変動のデジタルアース上でのモニタリング手法の開発(平成27年度)、表現方法の高度化として b 値の時空間分布・変動を内陸の活断層(平成28年度)およびプレート境界領域(平成29年度)でモニタリングするシステムの開発、RTL/RTM アルゴリズム(文献:2,3)を用いた地震静穏化の時空間分布の計算と、Lippiello et al. (2012)(文献:4)の手法を用いた地震活動集中度の時空間分布の計算(平成30年度)を行い、2019年度は地震活動を統計的に捉え、その特徴を5つのパラメーターで表す ETAS モデル(Epidemic-Type Aftershock Sequence model, 文献:5)による解析を行い、地震断層ごとに ETAS パラメーターを計算しデジタルアース上でそれらの地震活動解析結果の可視化を行った。これらの成果は JavaScript ベースの WebGL である cesium を使用し、<http://strain.isc.chubu.ac.jp/>で公開を行った。

しかしながら年々解析成果が増えるにつれ、web ページの読み込みなどが非常に重く時間がかかるようになっており、スマートフォンなどでも閲覧できるようにサイトの軽量化が喫緊の課題であった。そこで今年度は可視化の手法として同じく JavaScript ベースの leaflet を使用し、可視化する情報の整理とサイトの軽量化を行った。また、今年度の特徴的な地震活動として、2020年11月から青森沖で $M4$ から $M6$ クラスの地震が連続して発生し、2021年2月13日には福島県沖で $M7.3$ の地震が発生した。これらの2020年度の東北地方の地震活動に対して準リアルタイムな監視、解析を行ったのでその解析結果もあわせて報告する。

2. 方法

研究がスタートした平成26年度は解析結果の表現のプラットフォームとして、Google Earth を使用しており、各種解析結果は kml ファイル形式で保存されていた。平成29年度に解析結果を web 公開するにあたり、Google Earth API の廃止が予定されていたため、同じく 3D 表現が可能な JavaScript ベースの WebGL である cesium を採用した。cesium はデータの入力ファイルとして kml にも対応しているため、解析システムやプログラムに大きな改修を加えることなく、解析結果を WWW 上で公開することができた。

しかしながら cesium の標準的なデータ入力形式は、JavaScript Object Notation(JSON)を用いて地物などの空間データ(緯度・経度など)をエンコードした GeoJSON 形式であり、cesium で kml ファイルを表示させる場合には読み込みや処理に時間がかかってしまう。特に、年々増え続ける観測データおよび解析データによって、公開用の web サイトを開いたり、レイヤーを変更して表示を更新したりする際には、数十秒から1分近く待たされることがあり、場合によっては web ブラウザがクラッシュしてしまうことがあった。kml ファイルを読み込む際に、kml 内でリンクしている解析結果の画像も画面更新時にすべて一括して読み込んでいることが原因で、スマートフォンからの閲覧の際には通信量を気にかける必要があり、スマートフォンでも閲覧が可能な軽いサイトの構築が必要不可欠であった。

そこで、解析システムとプログラムを変更して、観測データと解析データを GeoJSON 形式での出力に変更、web 公開用のプラットフォームとして cesium よりも軽量の leaflet を採用することでサイトの軽量化を

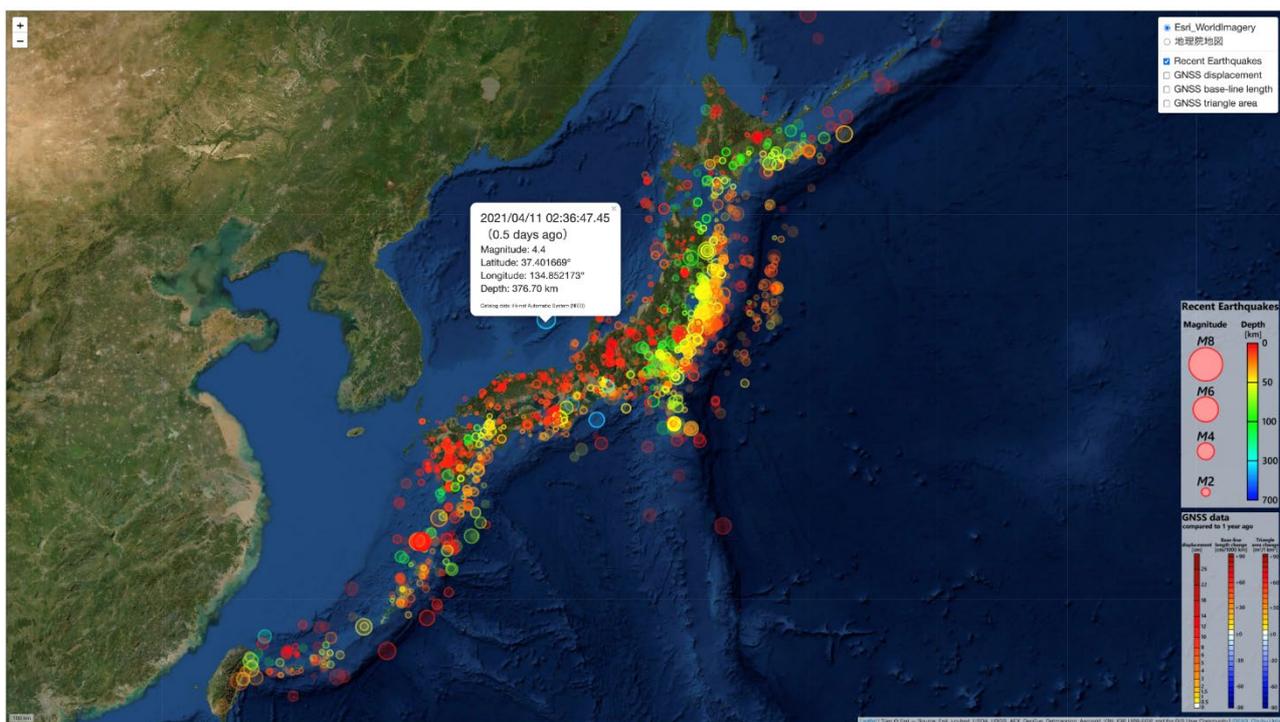


図1 leafletによる日本近海における直近1週間の地震活動の可視化
(<http://strain.isc.chubu.ac.jp/leaflet/>)

図った。leafletはcesiumと異なり、3D表現ができず2Dの地図形式での表示のみ可能であるが、現時点では震源などの深さ情報は地表面に投影したものを表示しているので問題ないと判断した。

3. 結果

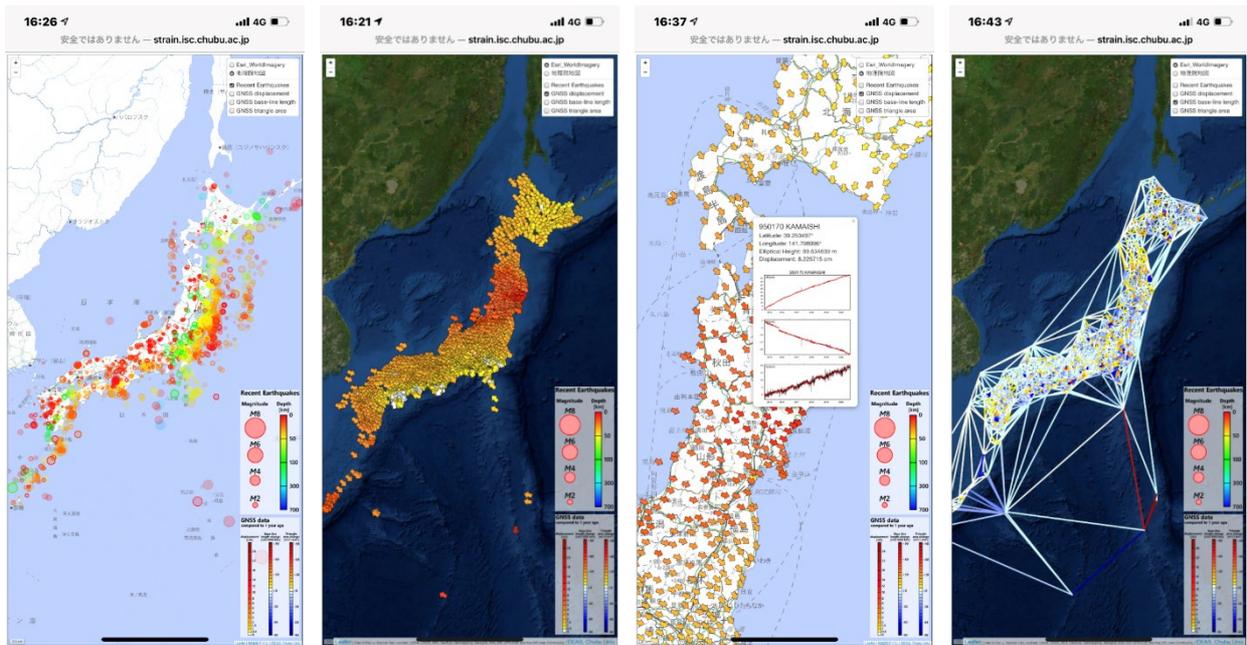
<http://strain.isc.chubu.ac.jp/leaflet/> に leaflet を用いたサイトを作成し、解析結果を公開している。図1にleafletで表現した1週間の地震活動の分布を示す。円の大きさは地震のマグニチュードを、円の色が深さ（赤は浅い地震、青は深い地震）を、円の透明度は経過時間（新しい地震は透明度が低く、古い地震は透明度が高い）を示している。円を選択するとポップアップウィンドウが開き、地震発生時刻、マグニチュード、緯度経度深さ、使用した地震カタログ（防災科研 hi-net 自動震源データもしくは気象庁一元化データ）などの情報が確認できる。背景地図は

表1 ページ読み込み時間の比較

	旧サイト	新サイト
request 数	8830	66
ファイル容量	1271 MB	4.8 MB
読み込み時間	1.0 min	985 ms

Esri World Imaginary（衛星画像）と地理院地図から選択可能である。従来までは地震活動をアイコン画像で表現していたが、円などのシンボルに変更するなどサイトの軽量化を図り、スマートフォン上でも十分に閲覧できるようになった。Web ブラウザ（Chrome）のデベロッパーツールで新旧サイトのトップページの読み込み時間を比較したところ、表1のように大幅に読み込み時間が改善されている。

図2にスマートフォンでサイトを閲覧した例を示す。図2(a)は地理院地図を背景地図として、直近1週間の地震活動データを表現したものである。図2(b)はGNSS電子基準点の1年間の変動方向とその大きさを示している（国土地理院の「日々の座標値（R3）」速報値を使用している）。矢印の向きが1年前と比較して電子基準点がどちらの方向に変位したかを示し、変位の大きさを矢印の色で示している。赤色が濃いほど大きく変位しており、東北地方は10年前の東北地方太平洋沖地震の余効変動が現在も続いていることが確認できる。矢印を選択すると、図2(c)のようにポップアップウィンドウが開き東西方向、南北方向、上下方向の変動のグラフが表示される。旧サイトではこういった選択時に表示される画像ファイルも最初にすべて読み込んでいたため読み込み時間がかかっていたと考えられる。図2(d)はGNSS電子基準点の2点間の距離の変



(a) (b) (c) (d)
 図2 各スマートフォンでの表示例 (<http://strain.isc.chubu.ac.jp/leaflet/>)
 (a) 直近1週間の地震活動 (背景地図：地理院地図)
 (b) GNSS電子基準点の変動 (背景地図：Esri World Imaginary)
 (c) 電子基準点「釜石」での東西・南北・上下変動量 (背景地図：地理院地図)
 (d) GNSS電子基準点2点間の距離 (背景地図：Esri World Imaginary)

動を示したものである。一年前と比較して2点間の距離が伸びていれば赤色、縮んでいれば青色の線で表示されている。

4. 2020年度の東北地方の地震活動

2020年度の特筆すべき地震活動として、東北地方での活発な地震活動があった。2020年11月6日から7日にかけて、 $M4.5$ 以上の地震が青森県東方沖の非常に狭い範囲で発生し、その後、12月12日に岩手沖で $M5.4$ 、12月21日には青森沖で $M6.5$ の地震が発生した。その後2021年2月13日には福島県沖で $M7.3$ の地震が発生した(図3)。11月の群発的な地震活動がより大きな地震活動に発展する可能性があったため、地震活動が集中した領域の臨時モニタリング体制を整え、準リアルタイムな解析と可視化を行った。

図4はLippiello et al. (2012) (文献:4)の手法を用いた地震活動集中度 Φ の時間変化を示している。青矢印は地震活動集中度 Φ が最大値を示した11月8日時点を示しており、通常の10倍以上の値を示しており、これはより大きな地震が通常時よりも10倍以上発生しやすくなっていたと考えられる。しかしながら、これ以降この領域での地震活動度は低下し、この領域から50 kmほど離れた場所で12月21日に $M6.5$ の地震が発生した。また、2021年2月13



図3 2020年11月1日から2月13日までの東北地方の地震活動 ($M4.5$ 以上地震のみ表示)

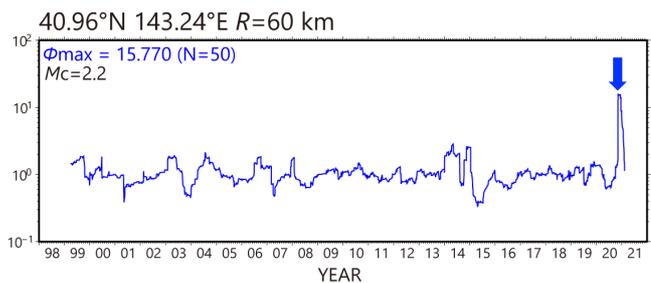


図4 11月の群発地震が発生した領域での地震集中度 Φ の時系列変化。

日には $M7.3$ の地震が発生したが、この地震の前には特に前震活動や、地震の静穏化などは観測されなかった。

5. まとめ

地震活動や地殻変動などの地球観測データとその解析結果の可視化のプラットフォームを、**cesium** からより軽い **leaflet** に変更した。解析結果の出力フォーマットの変更やサイトの構成など、全面的に改訂することで軽量化を実現できた。また、2020年度の東北地方での一連の地震活動に関して準リアルタイムな監視・解析を行った。

今後の課題としては、通常時には情報量を少なくして軽さを追求して概観が把握できるようなページと、大きな地震や特徴的なイベントがあったときに、**Nanjo et al. (2019)**(文献:6)で示すような地震前後の b 値および p 値の変動をリアルタイム更新するなど、一連の解析結果を自動的に可視化してコンテンツ化してウェブページを更新する仕組みの作成を目指す。

6. 謝辞

本研究は中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS202011 の助成を受けたものです。

参考文献

1. Nagao, T., Y. Orihara, and M. Kamogawa, “Precursory Phenomena Possibly Related to the 2011 $M9.0$ Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake”, *Journal of Disaster Research*, Vol.9, No.3, pp. 303-310, 2014.
2. Sobolev, G. A., and Y. S. Tyupkin, “Low-seismicity precursors of large earthquakes in Kamchatka”, *Volcanol. Seismol.*, 18, 433–446, 1997.
3. Nagao, T., A. Takeuchi and K. Nakamura, “A new algorithm for the detection of seismic quiescence: introduction of the RTM algorithm, a modified RTL algorithm”, *Earth, Planets and Space*, 63, 315–324, 2011.
4. Lippiello, E., W. Marzocchi, L. Arcangelis, and C. Godano, “Spatial organization of foreshocks as a tool to forecast large earthquakes”, *Scientific Reports*, Vol. 2, 846, doi:10.1038/srep00846, 2012.
5. Ogata, Y., “Statistical models for earthquake occurrences and residual analysis for point processes”, *Journal of American Statistical Association*, Vol.83, No.401, pp.9-27, 1998.
6. Nanjo, K. Z., J. Izutsu, Y. Orihara, M. Kamogawa, T. Nagao, “Changes in Seismicity Pattern Due to the 2016 Kumamoto Earthquakes Identify a Highly Stressed Area on the Hinagu Fault Zone”, *Geophysical Research Letters*, 46, <https://doi.org/10.1029/2019GL083463>, 2019.

使用したデータ

気象庁一元化震源カタログ (ダウンロード元 <ftp://eri.u-tokyo.ac.jp/>)

防災科学技術研究所 Hi-net 高感度地震観測網自動処理震源データ

国土地理院 GEONET データ

防災科学技術研究所地震ハザードステーション (J-SHIS)