

アジアの活断層図のデジタルアースへの投入と利用サービスの向上

中田高*、後藤秀昭*、福井弘道**、井筒潤**、杉田暁**

*広島大学大学院人間社会科学科部、**中部大学国際 GIS センター

1. はじめに

本研究の目的は、活断層研究の専門家が作成するアジア全域の詳細な活断層分布図とそれに関連する情報をデジタルアースに投入し、その効率的かつ広範な利活用を可能とする方策を検討しようとするものである。

活断層は内陸での直下型大地震の発生源である。近年発生した熊本地震の被害状況などから甚大な地震被害は活断層近傍に集中することが明らかとなり、活断層の詳細な位置・形状に関する情報は安全な住環境の把握に不可欠なものとなっている。このような活断層の位置・形状およびそれに関連する膨大な情報を、拠点研究者との共同研究によって、一般の人々がデジタルアース上で容易に把握しその危険性の理解を促すために必要なデータの投入および利用サービスのあり方を検討し、その実現を目指す。なお、アジアの全域の活断層の判読と断層線のデジタル化を別途科研費で実施中であり、5年計画で着実にマッピングを進めているところである。日本の約25倍の約960万平方kmに及ぶ広い国土面積をもつ中国には、地域によっては比較的高密度に活断層が発達している。本年度は、デジタルアース上で活断層情報を提示する資料として、北京周辺のCORONA衛星画像画像を購入し、それをもとにさらに詳細な変動地形学的な活断層判読を行い、活断層線のデジタル化と属性データを整理した。また、活断層データと活断層の判読に用いたアナグリフ画像のデジタルアース投入に関する諸課題の検討を行った。

2. 方法

本研究では、JAXA が提供する ALOS World 3D-30m(AW3D30) DEM(以下 ALOS 30 DEM と略称)から作成したアナグリフ画像を、Map Tiler Pro (Klokantech Technologies)を使って.kml ファイルに変換して Google Earth 上に展開して活断層判読を行った。この手法(後藤, 2015)では、ALOS 30DEM アナグリフ画像で判読した活断層を透過度調整機能を使って Google Earth の拡大した画像上で参照し、それらの位置や形状を詳細に把握することが可能となる。ALOS 30 DEM のグリッド・サイズは 30 m であり作成したアナグリフ画像の画像解像度は高くはないが、この画像の判読によって活断層の分布状況を概ね把握し解像度の高い Google Earth(1 m, 場所によっては 15~30 cm)画像から活断層の詳細な位置・形状を確認し、信頼性の高い詳細な活断層図を作成した。さらに、Google Earth の描画機能を用いて活断層線を詳細な画像に直接記入し、それらの属性情報を「説明」として記録した。これによって、広域の活断層の網羅的マッピングを直感的かつ効率的に実施することが可能となった。本年度は、デジタルアース上で活断層を提示する適切な表現方法および付与すべき機能として JavaScript ベースの WebGL である leaflet と ArcGIS Online の二種類の手法を試みた。

3. 結果

・中国全域の予察的な活断層判読

活断層が広く発達する中国内陸部は植生の乏しい乾燥地域であり、地形の人工改変も殆どないため断層変位地形の把握は比較的容易であった。中国に限らず、主要な活断層が明瞭な地形境界やリニアメントに沿って発達する例は多い。しかしながら、中国地震局地質研究所(2020)の活断層図に見られる長大な断層には、全く断層変位地形が認められず、活断層と認定できなかったものが数多く見られた。一方、本研究では、数多くの活断層を新たに認定した。これらの活断層の多くは、明瞭な地形境界やリニアメントに沿ったものではなく、盆地底などの起伏の小さい地域で見られた例が多い。天山山脈の山間盆地では、盆地底には東西走向の長さ 50 km 以上の複数の活断層から構成される複数の断層帯が全体として 500 km におよぶ長大な変動帯を形成している。また、タリム盆地の南西縁でも盆地と山地の地形境界から離れた盆地底に長さ 100 km 以上の達する活構造帯が発見された。西安盆地では活断層は北西-南東に延びる盆地の両縁のみならず盆地底にも活動度の高い活断層が密集しており(日中地震予知共同研究西安グループ、1992)、中国において最も地震危険度の高い地域の一つと認定できる。なお、中国地震局地質研究所(2020)で認定している福建省 や広東省の沿岸に近い活断層については、変動地形は全く認められず、活断層ではない可能性が極めて高いと言える。

・CORONA 衛星画像画像を用いた活断層の判読

デジタルアース上で活断層情報を提示する資料として、本年度購入した北京周辺の CORONA 衛星画像画像をもとに、詳細な活断層判読を実施し、活断層線のデジタル化と属性データを整理した。中国の首都・北京周辺には活

断層については、1980年代から多くの研究があるが、初期の論文の多くが中国語で書かれており、初出を把握することは容易ではない。ここでは、Wu and Zhou (2008)や He and Tsukuda (2003)などを参照して北京周辺の既知の活断層と変動地形学的手法によって本研究によって認定した活断層の分布とその特徴を述べる。

・北京市周辺の活断層

北京市市街地東部に位置する Xiadian 断層は、北東-南西走向の数本の並走する断層線によって構成され、第四紀層の厚さが急変する場所にほぼ一致する。本断層は 1679 年地震の震源断層と考えられており、詳細な地形調査やトレンチ調査が行われ (Ma et al., 2018, Yu et al., 2019, Wang Y. et al., 2021) 活動履歴の解明が進んでいる。ただしトレンチ壁面に認められる断層はいずれも正断層であり、東西圧縮の応力場と整合的ではない。彼らが主張するトレース上では、断層変位地形は不明瞭である。また、本トレースを境に地下水汲み上げに伴う地盤沈下が続いている (Zhou et al., 2018)。

北京市市街地北部を北西-南東に横切る Nankou-Sunhe 断層も、断層変位地形は極めて不明瞭である。この断層を横切って、トレンチ調査 (Jiang et al., 2002) やボーリング調査 (Zhang S. et al., 2008; Zhang L. et al., 2014) が行われ、活動履歴が示されているが、第四紀層の厚さが急激に変化する地下の直線線状の崖にそって発達し、顕著な地盤沈下が発生している (Hu L. et al., 2019)。

北京市市街地北西部を南東-北西に横切る Huangzhu-Gaoliying 断層 (Xu et al., 1992) も変動地形学的な証拠が見出せない断層である。Cheng et al. (2015) は、Gaoliying 断層に沿って発生した地表破断を横切ってトレンチ調査を行い、その原因を地下水の汲み上げによる地盤沈下と断層運動の両方に求めた。しかし、地表破断は現在も継続していることから、テクニクな現象ではないことは確実である。

したがって、変動地形学的な証拠がほとんど認められない低地部の断層は、その多くは活断層の可能性が極めて低いと考えられる。

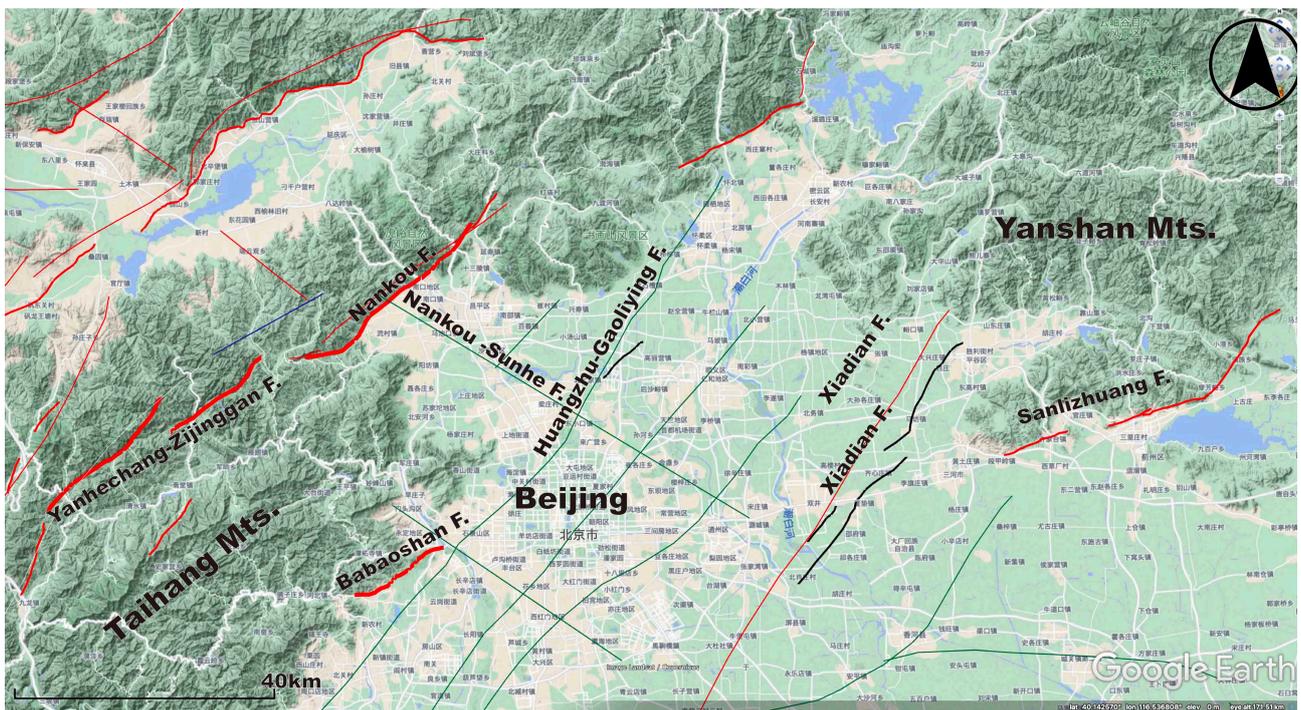


図 1 北京周辺の活断層 背景図は Google Earth 細い直線的な実線は中国地震局地質研究所 (2020) 示された活断層、太い曲線的な実線は本研究によって認定された活断層、細い曲線的な実線は推定活断層を示す。

・北京市周辺山地部の活断層

太行山脈 (Taihang Mts.) 北部の山地や平野との境界部には、明瞭な断層変位地形を伴う活断層が発達する。Yanhechang - Zijinggan 断層は山地の北部の山地内に発達する北東-南西走向の活断層である。北部の Yanjiataicun 周辺では、この断層を横切る谷に右屈曲が系統的に認められることから、この断層は右横ずれ断層と認定される。Nankou 断層は北京市の北西の太行山脈と平野の北東-南西に延びる直線的な境界部に発達する正断層と推定された活断層である (Huang et al., 1991; He and Fang, 1995)。しかし、この断層の中央部 Kanglingcum-Shuiquangou の間

では、断層を横切って流下する谷に系統的な右屈曲が認められることから、右横ずれ変位を主体とする活断層であると認定される。谷の屈曲量は数十mから1 kmと異なるが、上流の長い谷ほど屈曲量大きい傾向があることから断層変位の累積性が認められる。Babaoshan断層は北京市市街地の西に隣接する山地と丘陵の境界に位置する東北東-西南西走向の活断層である。この断層を横切る谷にも系統的な右屈曲が認められる。ただし、この断層の北西への延長を変動地形学的に解明することは困難である。北京市の東、Yanshan(燕山)山地の南麓は、低地との間に東北東-西南西走向の直線的な山麓線が認められる。この断層を横切る谷には右屈曲を示すものが多いが、地形の人工改変が進んでおり系統的と認めるまでには至らなかった。

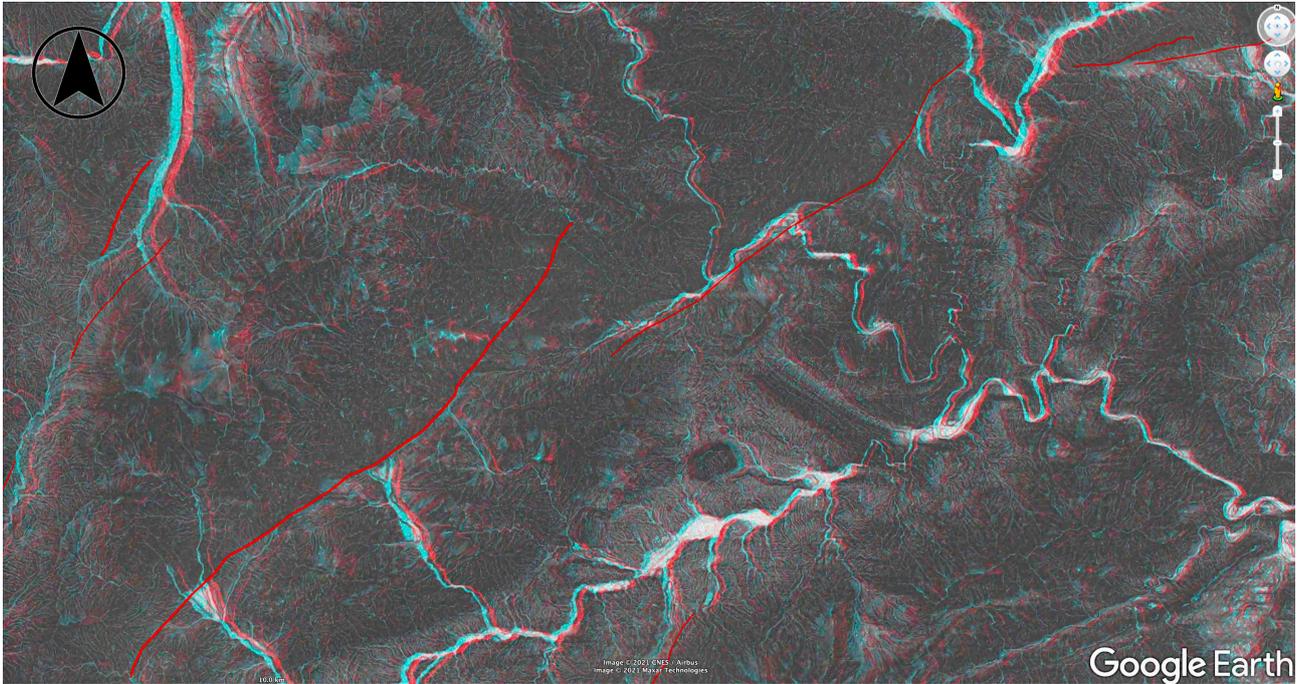


図 2 Yanhechang - Zijinggan fault 背景はALOS 30 DEM から作成したアナグリフ画像
赤線はこのアナグリフ画像と GoogleEarth の詳細画像をもとに判読したもの。
立体視のためには赤青メガネを使用。

これまでの、国レベルの活断層図の多くが、複数の研究者によって異なった手法で認定された活断層図をコンパイルしたものであるのに対して、本研究では過去の大地震に伴って地表に繰り返し出現した地震断層の累積結果である断層地形もとに変動地形学的に広域的に認定するために、ALOS 30 DEMアナグリフ画像をGoogleEarth上で重ねて表示し効率的にマッピングを行った。この結果、日本とほぼ同等の活断層図を作成することができた。

・活断層データのデジタルアース投入に関する諸課題の検討

2021 年度はデジタルアース上で活断層を提示する適切な表現方法および付与すべき機能を検討するために、JavaScript ベースの WebGL である leaflet と ArcGIS Online の二種類の手法で web 公開用のプロタイプの作成を行った。

図 3 は中国北京周辺の断層について、作成したアナグリフ画像と、そこから判読しデジタル化した断層線を kml ファイル形式から geoJSON ファイル形式に変換し、それぞれレイヤーとして leaflet を用いて表示したものである。断層線をクリックすることでポップアップ情報として活断層属性のデータを確認できる。以下のリンクで試験公開中である。

<http://strain.isc.chubu.ac.jp/leaflet/fault/index.html>

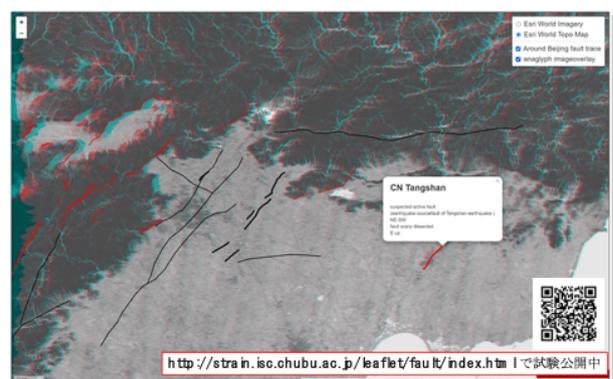


図 3 判読した活断層線とアナグリフ画像の leaflet での表示例

図 4 は同アナグリフ画像と断層線について、3D 表示にも対応したウェブブラウザ上で可視化するデジタル地球儀 ArcGIS Web シーン、および Web GIS システム ArcGIS Online で表示したものである。それぞれ、URL で試験公開中

(ArcGIS Web シーン:

<https://arcg.is/180Sfa> ArcGIS Online :

<https://arcg.is/W81yn>)。ArcGIS Online

では、自分が公開した空間データを、一般公開されている多様なデータと重ね合わせて表示したり、長さや面積の計測を行ったり、衛星画像や地形図など様々なベースマップ上に展開したりすることが可能である。

leaflet はシンプルな機能ゆえ軽量で描画表示が早く、判読した断層線の表示などには適しているが、アナグリフ画像は一つ一つが 50 MB 以上あり、そのまま leaflet で表示させると読み込みに時間がかかってしまう。また、leaflet は座標系が web メルカトル (EPSG:3857) にのみ対応しているので、作成されたアナグリフ画像 (EPSG:4326) を GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)などで座標系を変換する必要がある。

ArcGIS Online は座標系の変換やピラミッド化などの大きな画像ファイルの描画の最適化を簡単に行うことができるので、目的に応じて適した可視化の手法を採用する必要がある。

ArcGIS Online は座標系の変換やピラミッド化などの大きな画像ファイルの描画の最適化を簡単に行うことができるので、目的に応じて適した可視化の手法を採用する必要がある。

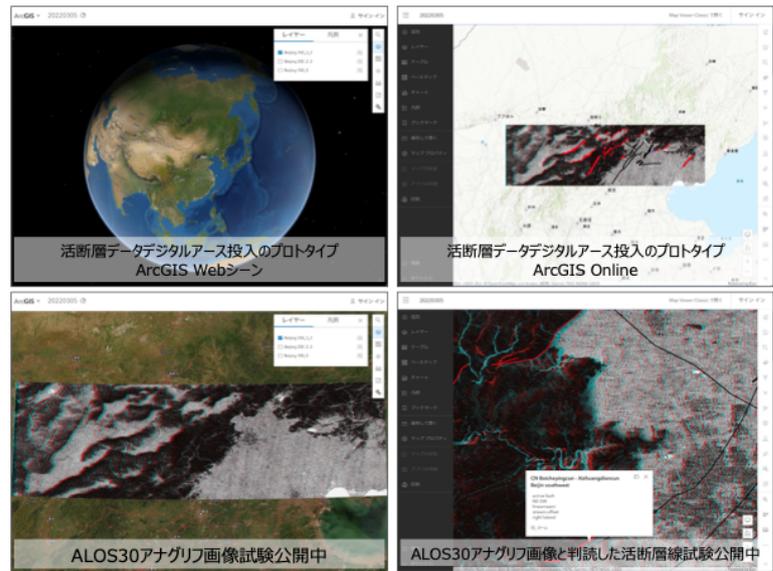


図 4 判読した活断層線とアナグリフ画像の ArcGIS Web シーン / Online での表示例

4. 考察

中国の活断層研究については、He and Tsukuda(2003)がそれまでの研究成果をまとめ、広域的な活断層図を提示している。また、最近、中国地震局地質研究所(2020)は「全国活動断層展示系統説明」としてデジタル活断層図 <https://www.eq-igl.ac.cn/tzgg/info/2020/21942.html> を提供している。これらの活断層図は、既存の研究成果をコンパイルしたもので、明瞭な山地と平地の境界や長大なリニアメントに沿って認定されたものには断層変位地形を伴わないものもあり、活断層ではない可能性は低いものも少なくない。一方、2008年四川地震の発生源となった活断層の中で、盆地と山地の境界に発達する Pengxian - Guanxian 断層では地震断層が出現した場所でも断層変位地形が全く認定できない区間が殆であった。この地震の主要な震源断層である横ずれ断層である Xiaoyudong 断層の南半部でも明瞭なリニアメントや変動地形が全く認められず、変動地形学的手法による活断層認定に限界があることも明らかとなった。長大な活断層には、断層変位地形が明瞭な区間と不明瞭あるいは欠落する区間がある事例も数多く認められた。これは、地震発生時に大きく変位する区間とそうでない区間に対応し、強い地震動を発生するアスペリティの存在を暗示する重要な情報と考えられる。

5. まとめ

本研究では、断層変位地形の存否を活断層認定の基本とし網羅的に判読作業を実施したが、対象範囲が余りにも広大であるため、未判読の場所や変動地形の見落としの可能性を否定できない。また、フィールド調査や解像度の高い空中写真や高密度 DEM は用いておらず、詳細さにおいては限界がある。今後、さらに CORONA 衛星画像などによる詳細なマッピングを行い、信頼性の高い新たなデジタル活断層図の完成を目指す。また、活断層の属性データの充実を図り、活断層データベースとして充実させたい。活断層および関連データのデジタルアースへの投入に関しては、50 MB を超えるアナグリフ画像の可視化の最適化を ArcGIS Online の機能を使って図る予定である。

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 IDEAS202113 および科学研究費補助金(基盤研究 B, 18H00766)の助成を受けたものです。

参考文献

1. 後藤秀昭, 活断層研究, 42, 73–83, 2015.
2. 中国地震局地質研究所, <https://www.eq-igl.ac.cn/tzgg/info/2020/21942.html>, 2020.
3. 日中地震予知共同研究西安グループ, 東京大学地震研究所彙報別冊, 7, 186, 1992.
4. Wu and Zhou, Environmental Geology, 56, 245-254, 2008.
5. He and Tsukuda, Journal of Geography, 112(3), 489–520, 2003.
6. Ma et al. 2018, Acta Seismologica Sinica, 40(4), 399–410, 2018
7. Yu et al., Journal of Asian Earth Science, 184(4), 103997, 2019.
8. Wang Y. et al. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 12, 261–278, 2021.
9. Zhou et al, Remote Sens. 10 (4), 552, 2018.
10. Jiang et al., Science in China Series D, 45, 160–173, 2002.
11. Zhang S. et al., Science in China (Series D), 38(7):881–895, 2008.
12. Zhang L. et al., Geoscience, (1):234–242, 2014.
13. Hu. et al., Int. Jour. Appl. Earth Sci. Geoinfo., 101886, 2019.
14. Xu et al., North China Earthquake Sciences, 10(2), 1–11, 1992.
15. Cheng at al., Proc. IAHS, 372, 231–234, 2015.
16. Huang et al., Seismology and Geology, 13(1), 43 – 51, 1991.
17. He and Fang, Seismology and Geology, 17(1), 1 – 6, 1995.

データ

ALOS World 3D-30m (AW3D30)

<https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTALOS.112016.4326.2>