

京都大学における活断層研究

—活構造学研究室小史—

京都大学大学院理学研究科 堤 浩之

1. はじめに

京都大学における組織的な活断層研究は、岡田篤正が1993年に地殻物理学講座の教授として着任したことに始まる。それ以前にも、地球物理学教室や地質学鉱物学教室の教員や卒業生によって、近畿の活断層の物理探査を中心とした調査・研究が行われていたが、本小論では1990年代以降の京都大学の活断層研究に焦点を当てて紹介したい。そのため、副題を「活構造学研究室小史」とした。

岡田の着任後、1995年に竹村恵二が助教授として、また1997年に堤 浩之が助手として着任し、活断層研究の教育・研究体制が整っていった。その後、2002年に竹村が地球熱学研究施設教授として転出し、2003年に堤が助教授に昇任、2005年に岡田が定年退職し現在に至っている。なお地殻物理学講座は、2002年に活構造学講座と名称が変更されている。

2. 京都大学の活断層研究

活断層研究は、その主要な研究手法を変動地形学や第四紀学に立脚するため、自然地理学の博士課程を持つ大学が伝統的に研究や人材育成をリードしてきた。京都大学には自然地理学や地形学の講座がなく、また近畿圏全体を見ても自然地理学の研究・教育体制が手薄であるために、関西の活断層研究が関東に比べて遅れていたことは否めない。しかしながら、1995年の阪神淡路大震災を契機に日本全国で活断層調査が精力的に進められ、その中で京都大学も活断層研究の一大拠点としての地位を確立してきた。

以下に、最近20年間に京都大学の活断層研究グループが行ってきた調査・研究について、いくつかのトピックを中心に紹介する。

① 詳細活断層図の整備

阪神淡路大震災後、活断層の分布や詳細位置、変位様式などの情報への需要が増大した。これらの情報は、単に防災のみならず日本列島のアクティブテクトニクスを理解するうえでも最も基本的な情報である。1996年以降、国土地理院から「都市圏活断層図」が毎年刊行され、2010年までに約150図幅が刊行されている。都市圏活断層図は、活断層の位置や地形的特徴を縮尺2万5千分の1の地形図に地形分類とともに示しており、現在入手できるもっとも詳細な活断層図である。従来は人口密集地（都市圏）に分布する活断層を対象に作成されていたが、近年は大規模な活断層帯ごとに作成されている。岡田は刊行の企画段階から関わり、作成委員会の委員長を長年務めている。堤は1998年以来作成委員を務めている。

活断層の分布や性状を知るための基礎資料として、「日本の活断層—分布図と資料」（活断層研究会編、1980、東京大学出版会）やそれを大幅に改訂した「新編日本の活断層—分布図と資料」（活断層研究会編、1991、東京大学出版会）がある。これらは、活断層の分布を縮尺20万分の1の地勢図上に示し、活断層の変位様式や速度などに関する情報を図幅毎に解説文とともにまとめたものである。

この近畿版ともいえる岡田・東郷編「近畿の活断層」が2000年に東京大学出版会から刊行された。この基図は縮尺5万分の1の地形図であり、また地形分類も示されているため、防災面や学術的な有用性が高い。2002年には、全国の活断層を統一した基準で判読した上で、その結果を縮尺2万5千分の1の地形図に示しそれをGIS化したものが刊行された（中田・今泉編，2002，「活断層詳細デジタルマップ」，東京大学出版会）。岡田は近畿地方の判読を、堤は中部地方北部の判読を担当した。活断層データがデジタルデータとして収録されているため、その後多くの論文や出版物で活用されている。

② 活断層の地下構造

活断層の地下形状を理解することは、強震動予測や地形・地質構造発達史研究にとって重要である。反射法地震探査は、活断層の地下構造のイメージングに最も有効な手法であり、物理探査の伝統ある講座を継承する形で発展した京都大学の活断層研究でも重要な位置を占めている。最近15年間でも、有馬-高槻構造線（戸田ほか，1995，地震）、琵琶湖西岸断層帯（戸田ほか，1996，活断層研究）、養老断層（戸田ほか，1997，地震）、養老-桑名断層帯（Ishiyama *et al.*，2004，JGR）、中央構造線（堤ほか，2007，地震研究所彙報）などで探査が行われた。これらはすべて、現地データの取得から解析まで調査者自身によって行われている。このような探査が可能になったのは、1996年に東京大学地震研究所が反射法地震探査システム一式を導入し、全国の活断層研究者の共同研究として運用されてきたことが大きな要因である。また重力測定およびその解析による京都盆地の地下構造に関する研究が数名の修士論文の研究として行われ、井上ほか（2004，地震）によりまとめられている。

兵庫県南部地震後の約10年間に、国の交付金による地方自治体の活断層調査が精力的に実施された。岡田と竹村は、近畿～西日本の多くの自治体の調査に委員として参加し、調査計画の立案や調査の指導を行った。これらの調査で得られた成果は、各自治体の防災計画に生かされるとともに、地震調査研究推進本部が公表する「活断層の地震発生可能性の長期評価」の基礎資料として活用されている。

③ 活断層大地震の調査

大地震の発生に伴い、地下の震源断層のずれが地表まで到達し、地震断層が現れることがある。日本内陸の場合には、地震の規模がおおよそM7を超えると地震断層が現れることが多い。地震断層の出現位置や変位様式、変位量分布は地震の震源過程を明らかにするうえで重要なデータである。また断層変位地形や地質構造の成長過程を観察できる絶好の機会であり、さらに防災のためにも重要なデータを提供するので、可能な限り調査に出かけるようにしている。最近15年は長期的な傾向と比較して内陸活断層の活動が活発であり、1995年兵庫県南部地震（中田・岡田編，1999，「野島断層（写真と解説）兵庫県南部地震の地震断層」，東京大学出版会）、2000年鳥取県西部地震（堤ほか，2000，月刊地球）、2004年新潟県中越地震（Kim and Okada，2006，EPS）、2008年岩手・宮城内陸地震（堤ほか，2010，地学雑誌）、海外では2005年カシミール地震（Kaneda *et al.*，2009，BSSA；Kondo *et al.*，2009，Geology）などの地震断層の調査が行われた。2005年カシミール地震の場合は、震源域周辺の治安が良くないこともあり、系統的な調査を行ったのは我々の日本-パキスタン合同調査チームだけであり、ヒマラヤ前縁の地震テクトニクスを理解する上での貴重なデータとなっている。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に誘発されて、4月11日に福島県いわき市でM7の正断層型の地震が発生した（写真1）。この地震に伴ってそれぞれ長さ約15kmの2条の地震断層が出現し、これらについてもマッピングと古地震調査を進めている。

日本の内陸活断層上で地震断層を生じるような大地震が起こるのは平均して10年に1度程度である。そのため、過去の大地震に伴う地震断層のデータをまとめることは重要であり、岡田が中心となって取り組んできた。その結果、1891年濃尾地震（村松ほか、2002、「濃尾地震と根尾谷断層帯―内陸最大地震と断層の諸性質―」、古今書院）、1927年北丹後地震（岡田・松田、1997、活断層研究）、1943年鳥取地震（金田・岡田、2002、活断層研究）、1945年三河地震（杉戸・岡田、2004、活断層研究）などについて、断層の出現位置や変位量分布が詳しくまとめられた。



写真1 2011年4月11日の福島県浜通りの地震（M7）で、いわき市田人町塩ノ平に出現した正断層型の地震断層。南を向いて撮影。西側（写真の右手）が約1.5m低下し、低下側の水田の一部が水没している。3月11日の海溝型巨大地震により、一時的に東西伸張の応力場となり誘発された可能性が高い。

④ 海外の活断層調査

日本列島に分布する活断層は、総じて短く、変位速度も小さい。したがって、地震サイクルや断層の長期的な挙動に関するモデルの構築や検証のためには、より活動的で地震の再来間隔の短い断層を調査する方が良いデータがとれることが多い。また東アジアは、世界でもっとも地震活動・地殻変動の激しい地域のひとつであり、しかも人口密集地域である。このように地震災害に対する脆弱性の高い地域の地震テクトニクスを理解することは重要であり、そのような観点から、堤はサハリン（Tsutsumi *et al.*, 2005, Tectonophysics）・フィリピン（Tsutsumi and Perez, 2011, J. Asian Earth Sciences）・ミャンマー（Tsutsumi and Sato, 2009, BSSA）などの東～東南アジア地域で活断層や古地震調査を進めている。これらの地域は活断層・地震研究の後進国であり、現地の研究者との共同研究は技術移転を通じての国際貢献にもつながる。過去5年間に、フィリピンからは2名の国費留学生を博士課程に受け入れ、1名が学位を取得し帰国した。

活断層調査と並行して、海溝型巨大地震の発生履歴を地形や地層に残された痕跡から解明する研究も進めている。Ramos and Tsutsumi (2010, Tectonophysics) は、隆起サンゴ礁地形に基づいて、マニラ海溝に面する海岸部が最大で5m程度隆起するような巨大地震が繰り返し発生してきたことを明らかにした。マニラ海溝でM8クラスの地震が起こり津波が発生すると、南シナ海沿岸の広い地

域に被害がおよぶ恐れがある。そこで、フィリピン沿岸地域における津波堆積物の調査から、南シナ海の巨大津波の発生ポテンシャルを評価する研究を開始した。

岡田と竹村は、韓半島の活断層調査を現地の研究者と共同で進めてきた。半島の南東部に分布するヤンサン断層やウルサン断層が活断層であることを地形調査やトレンチ掘削調査で実証した（岡田ほか、1994, 1998, 1999, 地学雑誌；Okada *et al.*, 2001, Transactions, Japanese Geomorphological Union；鈴木ほか、2005, 活断層研究）。

3. 学会活動・後進の育成

1999年に日本第四紀学会が京都大学で開催され、岡田・竹村を中心として、シンポジウム「活断層と都市地盤・災害－阪神大震災から5年目の発信－」が開催された。阪神淡路大震災から5年目の2000年1月にはHokudan International Symposium on Active Faultingが兵庫県津名郡北淡町で開催され、岡田と堤が組織委員や実行委員として参加した。この国際シンポジウムは、規模を縮小しながらも、その後も2005年・2010年と5年おきに開催されている。2008年には、世界初の活断層に関する学会である日本活断層学会が設立された。初代会長に岡田が選出され、堤が2009年以降編集委員長を務めている。2012年の学術大会は京都大学で開催される予定である。

活構造学講座からは、1997年以降10名の博士学位取得者を輩出しており、東京大学地震研究所・千葉大学・産業技術総合研究所・愛知教育大学・フィリピン大学などで常勤の研究・教育職を得て中堅～若手研究者として活躍している。修士課程修了生の中で、専門分野を生かした職（教員、地質・建設コンサルタント、石油会社、地方自治体の防災関係部署）に就いている者が多いのも活構造学講座の特徴である。

4. 今後の展望

2011年の東日本大震災は未曾有の災害となった。このような低頻度大規模災害の真相を明らかにするためには、機器による観測データの解析に加えて、地形や地層に残された過去の地震・地殻変動の痕跡を読み解く作業が不可欠であり、活断層研究・変動地形学・古地震学的重要性はますます大きくなっている。

最近、学内の研究者との学際的な共同研究を進めている。地質学鉱物学教室の田上教授とは日本の断層地塊山地の隆起・剝削史に関する共同研究を続けており、これまでに六甲山地や木曽山脈が、いつ頃からどのくらいの速度で隆起してきたのかを明らかにしてきた（末岡ほか、地学雑誌、2010；Sueoka *et al.*, 2011, Island Arc）。同じく地質学鉱物学教室の山路敦教授や佐藤活志助教とは、活断層データを用いた応力解析の共同研究を進めている。京大には多彩な分野のすぐれた研究者が結集しており、しかも組織や学問分野の垣根が低く学際的な研究が進めやすいという長所がある。2003年度から5年間推進された21世紀COEプログラム「活地球圏の変動解明－アジア・オセアニアから世界への発信」を通じて、京大の地球惑星科学コミュニティーの風通しが良くなり、さらに2009年に地球惑星科学専攻が理学研究科1号館の北半分に結集して相互の距離が近くなったことも大きい。

活断層研究は、その情報が防災と直接に結びついて有用であるために、一次データを収集するだけでも社会的にある程度評価してもらえという側面がある。しかし、学問としての活断層研究を発展させるためには、ブレークスルーにつながるような仮説を立て、それを検証できるようなデータを収集すること、および他分野の研究手法を積極的に取り入れていくことが重要であろう。活断層研究の新たな展開を先導することが、京大の活断層研究の国際的なプレゼンスを高めていく鍵であると考えている。