

木村 学・木下正高編：付加帯と巨大地震発生帯—南海地震の解明に向けて— 東京大学出版会，2009年8月，292ページ，A5判，定価：4,600円（税別），ISBN978-4-13-066709-8

編者および著者らの強い情熱を感じる書籍である。その気持ちが、「おわりに」と題する巻末に「…学問の進捗状況をリアルタイムで伝えるということが本書の趣旨で…」と編者の言葉で表現されている。つまり企画、執筆、出版までの間に、刻々と科学が進展し、本書の内容が陳腐化するかもしれないが、それも覚悟の上で現況を記し、伝えたいという思いである。それくらい日進月歩の速い付加体研究のアップデートな指南書である。

1960年代に成立したプレートテクトニクス理論に基づき、日本でも1970年代以降研究者間の激しい論争を経て、地質学におけるパラダイムは多く転換した。その代表選手が「地向斜造山論」を打ち負かした「放散虫革命に基づく沈み込み帯における付加体モデル」であった。さらに付加体近傍は巨大地震の巣でもあり、巨大地震の発生過程の観点からも魅力的な研究対象である。パラダイムの転換から約20年余りが経ち、付加体と沈み込み帯/巨大地震発生過程に関連する地球科学的理解において、何がどのように変わり、どこまでわかっていて何が未解明なのか？ 評者のみならず、多くの地球科学研究者が知りたいところである。本書はそのような要望に、沈み込み帯のレビュー、南海トラフ/南海付加体の最新情報（陸域の過去の付加体である四万十帯を含む）、巨大地震発生過程を説明する動的付加体形成モデリング、仮説を論証するためのIODP南海トラフ地震発生体掘削研究（NanTroSEIZE、ナントロサイズ）の紹介という流れのなかで答えようとしている。

序章では、世界の沈み込み帯研究における付加体の位置づけに関するレビューを行い、次に付加体の分布・付加作用（造構造的浸食作用と対置させながら）を概説、世界で行われた沈み込み帯海

溝域の掘削史を紹介して、最後に現在進行中のナントロサイズ計画が披露される。上田誠也が1981年に提唱した「比較沈み込み帯学」（Uyeda, 1981）、Dewey and Bird（1970）の造山運動論に端を発する付加体理解の進展や誤解、そして新たな問題発生などが述べられる。このなかで、付加体の形成と発達にはプレート境界の結合度の結果ではなく原因である（Ruff, 1989）という逆転の発想は大きな影響を与えたこと、付加体近傍での地震発生帯の位置を支配する温度構造やアスペリティとの関係論、付加作用/造構造的浸食作用とウェッジの傾斜・臨界状態との関係論、などが重要視されている。ナントロサイズ計画での任務として、東南海地震の震源断層固着域までの掘削、孔内観測、試料採取までの手順が章末で概説される。

1章では、1300年に及ぶ世界最長の地震記録をもつ南海トラフ地震発生帯の地球物理学的・地質学的イメージが、世界最稠密な観測網から得られた最新データに基づいて詳説される。南海トラフで起こった昭和の2つの巨大地震を事例に津波・地震波形・測地資料から得られた破壊域の議論と問題、大規模構造探査で明らかとなった南海トラフの大局的構造がビジュアルに示されていてとてもわかりやすい。その他、地震発生体の固着域周辺で起こるゆっくり地震と低周波地震の解説も親切である。

2章は主題のひとつである南海付加体の現行過程最新情報である。付加体の地形学的特徴とそれをつくる地質学的・水理学的事実と解釈を約60ページにわたり紹介している。トラフに平行して発達する活断層群およびその変動地形、これらを断ち切る海底谷、付加体下底を限るデコルマ面の役割、トラフ軸を窪ませる海山の沈み込み、乱泥流の通路としての駿河トラフ、前弧海盆に点在する泥火山がビビッドに表現されている。また、付加体から流出する冷湧水は堆積物からの強制的脱水によるものであり、炭酸塩クラストやシロウリガイコロニーなどの生態系創成の原因であることも興味深い。海底谷を潜航調査した「しんかい6500」による地層変形の写真は、付加体内部が

非常に流動的であり、多くの断層や地すべりなどによって変形していることを示している。海底での熱流量観測は付加体の温度構造を明らかにし、地震発生帯の上限（1944年東南海地震のアスペリティの浅部境界付近）が約150℃ほどであるらしい。間隙水圧や流体湧出のメカニズム解明には水理地質学的観測が重要であると力説する。

3章はもうひとつの主題である現世南海付加体と地質時代の四万十付加体の比較研究からの展望である。2章同様に60ページの紙面を割いている。現世南海付加体の研究の大きな成果は、デコルマの発達プロセス解明である。他の付加体との比較を行っても共通することは、デコルマ面よりも上位は剥ぎ取られて付加体となり、下位は変形せずプレートと一緒に沈み込むこと、そしてデコルマとなる場所（プロトデコルマ）が厚さ30mのところにあらかじめ用意されていることである。南海付加体の場合、デコルマ層準は粘土鉱物の脱水とセメント形成による高間隙率の場所であることがわかってきた。つまりここが弱線として作用する場所となるのである。未解決な問題は、このデコルマが沈み込みにもないどのように地震発生帯へ変化（進化）するか？である。一方、地質時代の付加体である四万十帯は平朝彦らの紹介にはじまり、今や付加体の教科書である。四万十付加体は、白亜紀後期に太平洋北西縁において約1億年かけて陸源堆積岩と海洋プレートが混合してできたものである。これらの地質体は、おそらくアンデス山脈のような高山が高収束速度の沈み込み帯に成立していて、そこから浸食された大量の土砂が海溝を埋めたことによると考えられている。そのなかでメラングジュの生成、構造的な底付け付加体となりながら深部へ移動したものが四万十帯の本体である。そのなかにはいくつかの断層（構造線）が知られていて、延岡構造線、安芸構造線などは順序外断層（out-of-sequence thrust）として付加体を断ち切る分岐断層と考えられている（現在は活動していない）。これらの断層活動と付加体自体の形成深度はどのくらいであったのか？メラングジュ内で塑性変形を示さない石英粒子の形成深度は5～15kmであり、こ

れは現在の地震発生帯深度に一致しており、とても示唆的である。そのほか、メラングジュの成因論、断層岩（シュードタキライト）の発見、すべりや流体の存在による摩擦強度低下と断層弱化メカニズムを述べている。そして南海付加体に再び戻り、地震断層のイメージ構築を行っている。それによれば、海溝充填堆積物の特定層準に発達したデコルマは、沈み込みとともにステップダウンしているように見え、その上位にある付加体を切る分岐断層が深さ15kmほどのところで沈み込む反射面（海洋地殻上面）と収束する。この部分が1944年の東南海地震の震源断層帯の強力な候補であるという。さらに、なぜ地震が巨大化するのか？海洋地殻上面自体の凹凸がアスペリティの根源であり、上記の付加体プロセスがこの凹凸を隠してしまうことが逆に巨大地震の発生の最大理由となるのではないかと結んでいる。1999年台湾集集地震の断層掘削と物質分析では、地震の剪断熱にともなう間隙水圧の増加と摩擦強度の低下が容易に起こり、大きな地震すべりをもたらすことを教えてくれた。このことは、南海トラフでの掘削においても、地震伝搬メカニズムを理解する上で、断層物質が被る温度・間隙水圧に関するデータが必須であることにはかならない。すなわち、断層面の摩擦係数低下の機構を深く理解することが望まれるのである。

4章では、付加体の形状がウェッジ状を示す所以と、どのようにして維持されるかについての臨界尖形の数式モデルが解説されている。アナログ実験結果などを提示しながら、その傾斜分布や変形累積に浸食作用を考慮した実験がもっとも付加体の変形様式を再現できるという。また、2章・3章でも触れられている水理学モデル（水の挙動）も不可欠であることが再度紹介され、透水性の差異によって決まる排水・非排水や間隙水圧が付加体の幾何学形状に影響するらしい。しかし、このような常時臨界状態を想定することは必ずしも合理的ではなく、地震時に臨界状態、地震時以外には安定と考えるモデルを構築すべきである。臨界時・安定状態での応力解を求め、付加体内部での応力状態を再現してみると、圧縮場から

伸張場へと変化する中間状態を示せるという。外ウェッジでは深部からのすべりに対して摩擦力が上がりすべり量が小さくなり、圧縮性の臨界状態に達し、逆断層が生じやすくなり分岐断層の先端部となるのであろう。ところが内ウェッジでは、固着状態にある地震間ですら有効摩擦係数は0.04程度であり、地震時はほとんど0である。このため、内ウェッジのなかでは常に伸張性の安定状態にあると考えることができ、前弧海盆には変形構造がほとんど発達していないことと対応する。

5章では、これまでのODP孔内モニタリングの経験・実績・問題点を復習し、上記の知識・知見に基づいたIODP南海トラフ地震発生体掘削研究(NanTroSEIZE, ナントロサイズ)の計画・目的を再確認している。ねらうところはたくさんあるが、まずは掘削をプレート境界下まで成功させること、そして孔内計測ができる環境を継続的に保持することである。第1に地震時・間震時undip境界付近の運動計測、第2に広い周波数での地震観測、第3に間隙水圧・温度計測をあげている。これらを遂行するための技術的革新も7項目にわたり説明している。2007年9月に第1ステージの掘削調査をすでに終えており、その経過説明を経て、2012年頃までに海底下7km掘削と震源断層固着域(アスペリティ)到着予定を末尾としている。

進行中のプロジェクトの成果に先立ってこのような専門書が刊行された例を評者は知らないが、読み終えてみて一種の満腹感と若干の未消化感を感じている。これまで学会や雑誌レベルで断片的に理解していた南海トラフや付加体の最新研究を網羅的に本書で学べ、それらが総合的な理解へ進展したことは嬉しかった。ただ、評者の知識が追いつかない領域も多々あり、何回も読み直した項目もあった。同質の内容が微妙にニュアンスの異なる用語で表現されているところでは若干理解に苦しむところがあった。しかし、それはこの領域の科学が最新で急成長を遂げつつある証であろうと思う。未消化の部分は、今後の成果により払拭されると大いに期待するところである。それがきちんと理解できるようにこちらも境界領域の勉強を怠ってはいけないと思わせる一冊であった。

文 献

- Dewey, J. and Bird, P. (1970): Mountain belts and the new global tectonics. *Journal of Geophysical Research*, **75**, 2625-2647.
- Ruff, L.J. (1989): Do trench sediments affect great earthquake occurrence in subduction zones. *Pure and Applied Geophysics*, **129**, 263-282.
- Uyeda, S. (1981): Subduction zones: An introduction to comparative subductology. *Tectonophysics*, **81**, 133-159.

宮内 崇裕

(2010年4月23日受付, 2010年5月17日受理)