

知多半島から西三河平野にかけての 活断層形状の解明

—半地溝の盆地反転による知多半島の形成と1945年三河地震の震源断層—

宮川 歩夢¹⁾・阿部 朋弥¹⁾・住田 達哉¹⁾・大坪 誠²⁾

*本稿は2020年10月に、産業技術総合研究所が行ったプレス発表を修正・加筆したものです。

1. はじめに

伊勢湾・三河湾沿岸域は中京圏における大都市が集中する地域であり、1945年三河地震(マグニチュード6.8)をはじめとする内陸地震が発生しています。そのため、今後も地震に対する備えが必要な地域であり、当該地域における活断層の実態や、内陸地震を引き起こす地殻変動の解明が求められています。

特に知多半島周辺ではこれまでも地質構造(例えば、牧野内, 1975; 近藤・木村, 1987), 地下の基盤構造(例えば, 中条・須田, 1971; 愛知県, 2005; 堀川ほか, 2008)やそれらに基づく地殻変動史(例えば, 牧野内, 1976)について研究されてきました。しかしながら、知多半島の成り立ちに大きく寄与すると考えられる内海断層^{うつみ}は、知多半島の南西端と伊勢湾の陸海の境界に位置しているものの、これまで詳細な断層形状について十分評価されていないままでした。また、1945年三河地震に関しては、当時の被害分布(飯田, 1978)や、観測された地震波形に基づく震源過程の推定(Kikuchi *et al.*, 2003; 山中, 2004), 地表変位(杉戸・岡田, 2004; 高野・木股, 2009)など多岐にわたり検討されてきました。しかしながら、地震波形から推定される滑り域が南東-北西に伸びるのに対して、地表変位から推定される断層モデルが震源域東方の南北走向の断層群(横須賀断層^{ふこうざ}・深溝断層)に限られることは、1945年三河地震の発生メカニズムを理解する上で検討を要する点と考えられます。

そこで、筆者たちは伊勢湾・三河湾沿岸域の地質・活断層調査プロジェクトの一環として、重力探査を実施するとともに、既存の重力探査結果を集約することで、知多半島から西三河平野にかけての活断層、特に内海断層と高浜断層の形状を明らかにすることにより、知多半島の形成から1945年三河地震震源域におよぶ断層に起因する基盤形状を明らかにしました。

2. プロジェクトの概要

日本は国土の75%が山地で占められており、沿岸域に接する平野部に人口が集中し、工業コンビナートや発電施設など主要な産業施設も沿岸域に多く設置されています。また、2007年3月の能登半島地震(マグニチュード6.9)や同年7月の新潟県中越沖地震(マグニチュード6.8)が沿岸域で発生し、沿岸域における地質情報の重要性が再認識されるに至っています。

そのような社会的背景のもと、産総研ではわが国の知的基盤である地質情報整備の一環として、沿岸域の産業立地評価や地震防災施策等に資する調査手法指針の構築を目指し、海域-沿岸域-陸域におけるシームレスな地質情報の整備を実施しています。そこで、平成30年度から令和元年度にかけては、伊勢湾・三河湾沿岸域の海陸をつなぐ地質調査を実施してきました。ここで紹介する内容は、伊勢湾・三河湾沿岸域の地質・活断層調査プロジェクトの一環として行った重力探査に基づく研究結果をまとめたものです(Miyakawa *et al.*, 2020)。

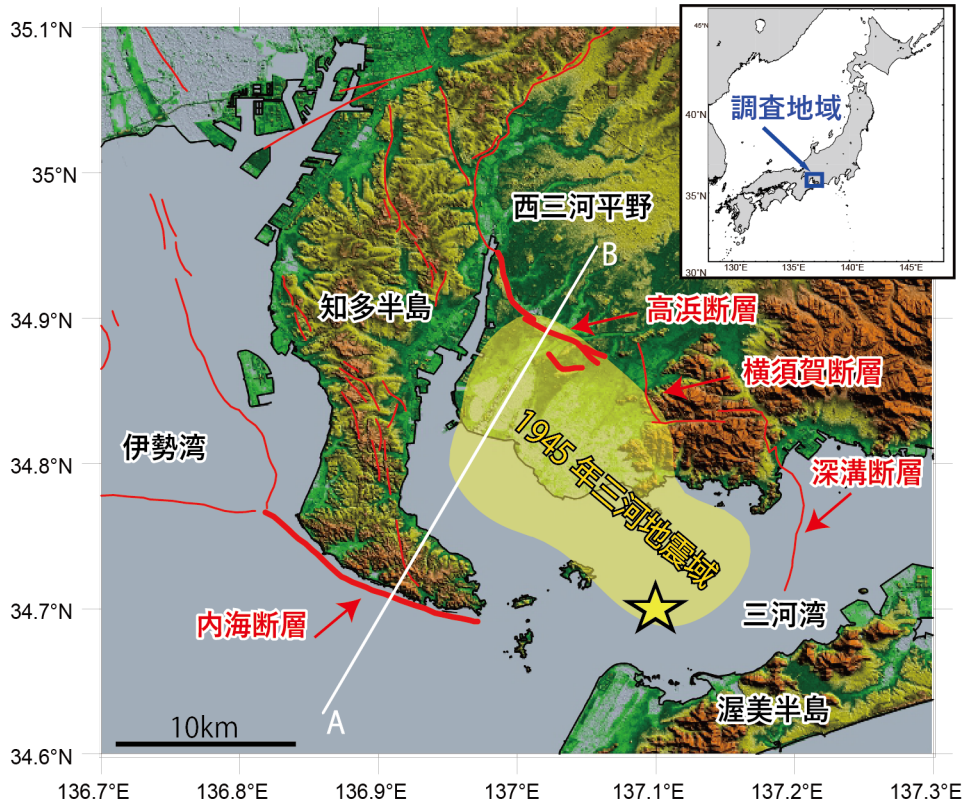
3. 成果の概要

本研究では地下の密度構造を反映する重力異常データを用いて、知多半島から西三河平野にかけての活断層に起因する基盤形状を推定しました(第1図)。調査地域では陸域・海域ともに広く重力探査が実施されており、既存データを集約することで大域的な地下の地質構造を推定することができます(地質調査総合センター編, 2013; Gravity Research Group in Southwest Japan, 2001; Yamamoto *et al.*, 2011)。一方、西三河平野のように、堆積層が厚く分布する地域に断層が伏在する場合は、重力異常の変化が小さく、既存の疎な測定点間隔では地下の地質構造を十分に捉えることができない可能性があります。そこで、筆者

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

2) 産総研 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門

キーワード: 三河湾地域, 知多半島, 西三河平野, 内海断層, 高浜断層, 重力探査, 盆地反転



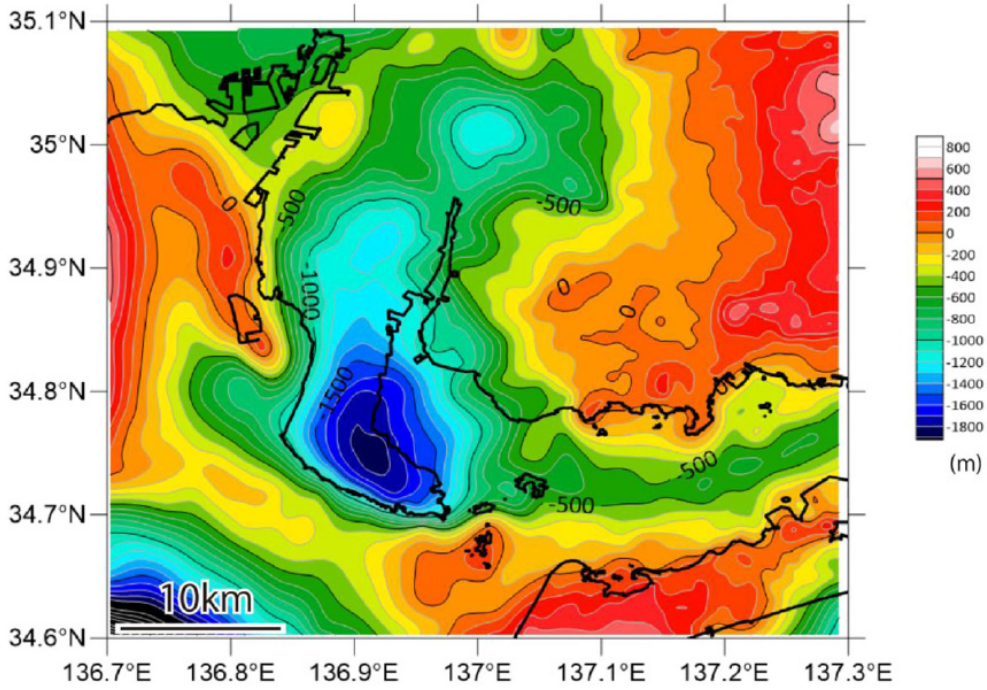
第1図 調査地の地形図と活断層分布および1945年三河地震震域（網掛け領域）と震源（星印）。A-B 測線沿いで、地下の地質構造の二次元解析を実施（第3図）。1945年三河地震震域は Kikuchi et al. (2003) を参考に作成した。地形図に使用したデータ (AW3D30) は、宇宙航空研究開発機構より提供を受けた。ここでは、知多半島北東部から西三河平野西部にかけて、北北西-南南南東~北西-南東方向に伸びる大高-高浜断層（約25 km）のうち、西三河平野の区間（約11 km）を高浜断層と呼ぶ。なお、表示範囲は第2図と共通。

私たちは西三河平野で追加の稠密な重力測定を実施しました。本地域は基盤岩（領家花崗岩類および変成岩類）とそれを覆う中新世～鮮新世の堆積岩（師崎層群、岡崎層群、東海層群など）および、第四紀の堆積層から主に構成されています（地質調査総合センター編，2015）。特に、基盤岩と堆積岩および堆積層の密度差が大きいことから、この地域の重力異常は、地下に伏在する基盤岩の形状を反映するものと考えられます。そこで、既存の重力異常データおよび新規の測定によって得られた知多半島から西三河平野にかけての重力異常から、内海断層と高浜断層の走向にほぼ直交する測線沿いの基盤形状および、両断層周辺の基盤上面の形状を推定することにしました。

重力異常から3次元解析により広域的な地下の地質構造を推定したあと、さらに断層に直交するプロファイルでの2次元解析を実施することで、詳細な断層形状を含む基盤上面形状を推定しました。重力異常からある地域の地質構造を明らかにするためには、対象とする構造よりさらに深部の広域的な構造の影響を除去する必要があります。例えば、本調査地域では南方から沈み込むフィリピン海プレートに起因する重力異常は、広域的な傾向として除去す

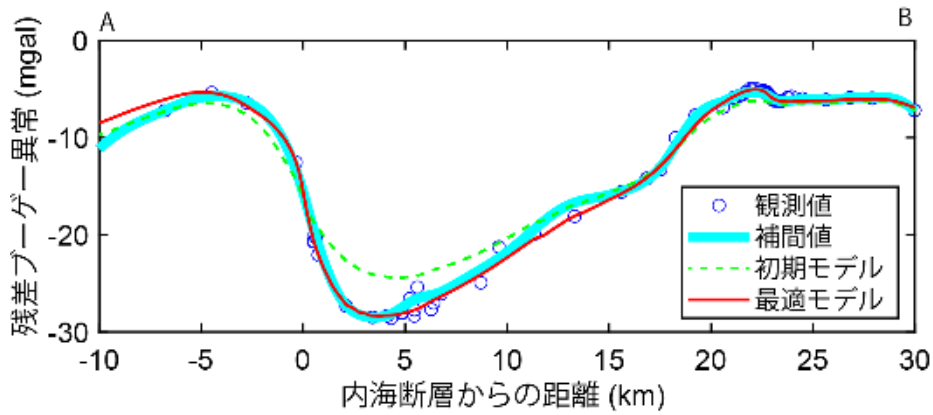
る必要があります。また、重力異常から基盤岩と堆積岩・堆積層の境界の形状を推定するためには、この地域における高密度な基盤岩と低密度な堆積岩・堆積層との代表的な密度差を推定する必要があります。そこで、そのような除去すべき広域的な傾向と代表的な密度を推定しながら、同時に3次元的な基盤上面深度の推定できる逆解析を行いました（第2図）。この際、複数のボーリングデータから得られている既知の基盤上面深度を拘束条件として推定しました。しかしながら、この解析だけでは断層周辺のように急激に変化する基盤上面形状を再現することができません。そこで、内海断層および高浜断層の走向にほぼ直交する測線を設定し、測線上の重力異常を適切に再現する断層形状の推定を行いました。特に、断層の傾斜方向および傾斜角は自由なパラメータとし、重力値を再現する最適な断層傾斜角を逆解析することにより、内海断層および高浜断層の断層タイプ（正断層あるいは逆断層）と傾斜角を決定しました（第3図）。

重力解析の結果、知多半島で深い基盤上面が西三河平野に向かって浅くなる様子と、内海断層と高浜断層による基盤上面の食い違いの様子が明らかになりました。内海断層

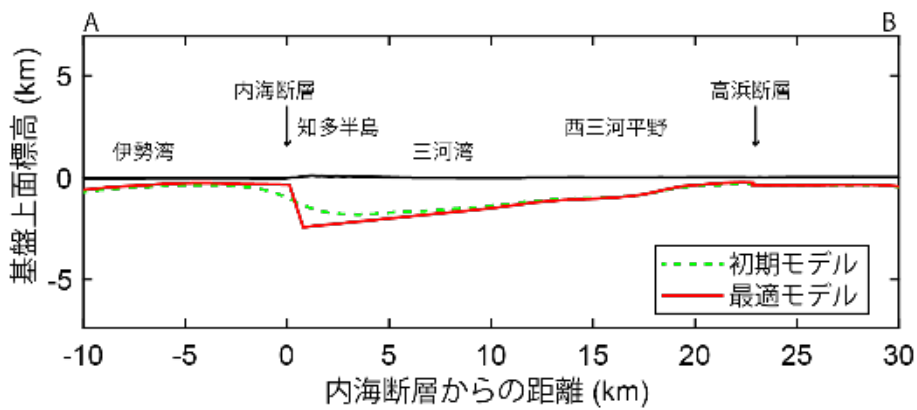


第2図 重力異常から推定される伊勢湾・三河湾沿岸域の基盤上面深度の分布図. Miyakawa *et al.* (2020) に加筆修正. なお, 表示範囲は第1図と共通.

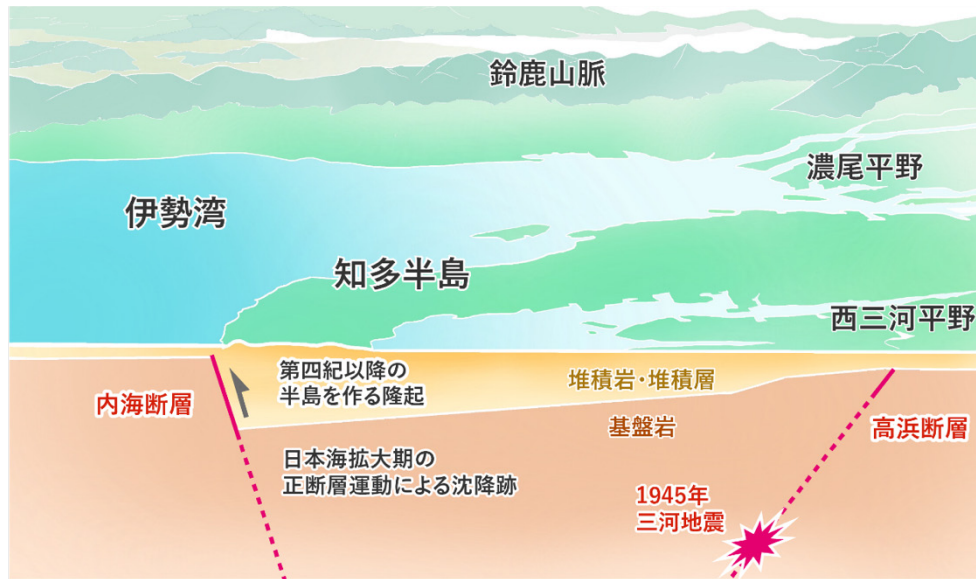
(a)



(b)



第3図 知多半島から西三河平野にかけての(第1図中測線AB)二次元解析により推定された内海断層および高浜断層に起因する重力異常(上図)と基盤上面深度(下図). Miyakawa *et al.* (2020) に加筆修正. 3次元解析によって得られた基盤上面深度およびそれに起因する重力異常(破線)に対して, 最適な断層形状に基づく重力異常(細実線)は, 観測値(太実線)をよりよく再現する.



第4図 知多半島から西三河平野にかけての活断層および基盤岩上面の形状の概略図。

は断層面に対して上側の岩盤(上盤)が落ち込む正断層型であり、高浜断層は断層面に対して上盤がせり上がる逆断層型の断層です。基盤上面は南西の伊勢湾において浅いですが、正断層型の内海断層を経て知多半島で急激に深くなります(第3図b, 第4図)。その後、基盤上面は西三河平野にむかって徐々に浅くなり、逆断層型の高浜断層を経てほぼ水平になります。このように基盤上面形状は明瞭な半地溝構造を示しており、知多半島の1500万年以上前の日本海拡大期の沈降から第四紀以降に隆起に転じる変動(愛知県, 2005; 堀川ほか, 2008)は、この半地溝の盆地反転構造に起因することが確認されました。ここで、正断層が半地溝を形成しながら沈降したあと、再び逆断層として隆起する際には、新たに走向方向に並行な共役な逆断層を作ることがモデル実験から知られています(McClay and Buchanan, 1992; Yamada and McClay, 2004)。このことから、高浜断層は内海断層を逆断層運動させる地殻変動に伴って形成された断層であると考えられます。また、モデル実験の結果から、共役断層は互いに地下でつながっていると推定されるので、基盤の起伏は小さいものの高浜断層の規模(深部方向の長さ)は地震が発生する深さに到達することが想定されます。このように高浜断層が深部まで至る規模の断層であることから、1945年1月に発生した三河地震を引き起こした断層である可能性を指摘できます。高浜断層の走向は1945年三河地震の地震波形から推定された震源モデル(Kikuchi *et al.*, 2003)と整合的であるとともに、同様の震源モデルで推定される西側の滑り域の分布ともよく対応します(第1図)。一方、1945年三河地

震による地表変位からは、高浜断層の活動が強く示唆されない理由は、高浜断層周辺に分布する厚い堆積層により、深部の断層変位がそのまま地表に現れるのではなく、堆積層の広域的な変形として分散されてしまった可能性が考えられます。

4. おわりに

伊勢湾・三河湾沿岸域における風光明媚な知多半島の地形は、遙か1500万年以上前の“地殻変動の化石”が、最近になって地表に表れ、その知多半島を作り出した地殻変動によってこの地域では内陸地震が発生している可能性が明らかとなりました。一方、1945年三河地震を引き起こした震源断層については、今回の結果は高浜断層の寄与を示唆するものではありませんが、これまで指摘されてきた横須賀断層や深溝断層の寄与を否定するものではありません。1945年三河地震の震源断層の理解のためには、今後さらなる調査が必要です。また、産総研では、これからも日本各地の沿岸域の地質調査を継続して、各地の地質学的な成り立ちや地震などの防災・減災に資する成果を発信して行く予定です。

謝辞: 本研究を実施するにあたり、地質情報研究部門の中島 礼グループ長、小松原 琢主任研究員、佐藤智之主任研究員、大熊茂雄招聘研究員には、ご議論ご協力いただきました。また、愛知教育大学の星 博幸教授には有益なコメントを頂きました。愛知県庁および西尾市役所からは基

盤深度推定のためのボーリングデータをご提供いただきました。九州センター九州センター業務室 櫻庭美那主査には概略図の作成にご協力いただきました。ここに記して感謝いたします。

文 献

- 愛知県 (2005) 平成 16 年度地震関係基礎調査交付金 三河地域堆積平野地下構造調査成果報告書, 153.
- 地質調査総合センター編 (2013) 日本重力データベース DVD 版, 数値地質図 P-2, 産総研地質調査総合センター.
- 地質調査総合センター編 (2015) 20 万分の 1 日本シームレス地質図 2015 年 5 月 29 日版, 産総研地質調査総合センター. (閲覧日: 2020 年 11 月 20 日)
- Gravity Research Group in Southwest Japan (2001) Gravity database of Southwest Japan (CD-ROM). *Bulletin Nagoya University Museum, Special Report*, **9**, Nagoya University Museum, Nagoya.
- 堀川晴央・吉見雅行・関口春子・吉田邦一・杉山雄一・佐竹健治・福和伸夫・鈴木晴彦・松山尚典・劉 瑛・滝沢文教 (2008) 中京地域の 3 次元地盤構造モデル. *活断層・古地震研究報告*, **8**, 203-254.
- 飯田汲事 (1978) 昭和 20 年 1 月 13 日三河地震の震害と震度分布, 愛知県防災会議地震部会, 76.
- Kikuchi, M., Nakamura, M. and Yoshikawa, K. (2003) Source rupture processes of the 1944 Tonankai earthquake and the 1945 Mikawa earthquake derived from low-gain seismograms. *Earth, Planets and Space*, **55**, 159-172. doi:10.1186/BF03351745
- 近藤善教・木村一郎 (1987) 師崎地域の地質. *地域地質研究報告* (1:50,000 地質図幅「師崎」), 地質調査所, 88p.
- 牧野内 猛 (1975) 知多半島南部の常滑層群. *地質学雑誌*, **81**, 67-80.
- 牧野内 猛 (1976) 知多半島南部の地質構造と伊勢湾周辺地域の構造運動. *地質学雑誌*, **82**, 311-325.
- McClay, K. R. and Buchanan, P. G. (1992) Thrust faults in inverted extensional basins. In: McClay, K. R. ed., *Thrust Tectonics*, Springer, 93-104. doi:10.1007/978-94-011-3066-0_8
- Miyakawa, A., Abe, T., Sumita, T. and Otsubo, M. (2020) Half-graben inversion tectonics revealed by gravity modeling in the Mikawa Bay Region, Central Japan. *Progress in Earth and Planetary Science*, **7**, 1-16.
- 中条純輔・須田芳朗 (1971) 伊勢湾北部の重力分布とその考察, *地質調査所月報*, **22**, 415-435.
- 杉戸信彦・岡田篤正 (2004) 1945 年三河地震の地表地震断層. *活断層研究*, **24**, 103-127.
- 高野和友・木股文昭 (2009) 1945 年三河地震 (M=6.8) に伴う地殻変動と震源断層モデルの再検討. *地震* 第 2 輯, **62**, 85-96.
- Yamada, Y. and McClay, K. R. (2004) 3-D analog modeling of inversion thrust structures. In: McClay, K. R. ed., *Thrust Tectonics and Hydrocarbon Systems*, AAPG Memoir, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, **82**, 276-301. doi:10.1306/M82813C16
- Yamamoto, A., Shichi, R. and Kudo, T. (2011) Gravity database of Japan (CD-ROM). *Earth Watch Safety Net Research Center, Special Publication*, **1**, Chubu University, Nagoya.
- 山中佳子 (2004) 1944 年東南海地震と 1945 年三河地震の震源過程 (総特集 1944 年東南海地震と 1945 年三河地震 (上) 60 周年). *月刊地球*, **26**, 739-745.

MIYAKAWA Ayumu, ABE Tomoya, SUMITA Tatsuya and OTSUBO Makoto (2021) The discovery of a large inverted half-graben in the Mikawa Bay Region, Central Japan.

(受付: 2020 年 11 月 24 日)