

北勢平野の地質構造 Geological structure in the Hokusei Plain

小松原 琢^{1*}
KOMATSUBARA Taku^{1*}

Abstract: The author analyzed previously reported drilling data for geotechnical research, and examined on “the middle terrace” (literature survey, air-photo interpretation and field survey) and made clear elevation distribution of the Last Interglacial marine clay bed and the same time terraces in northern part of the Ise Plain, Mie Prefecture, central Japan. The result is that vertical displacement since the early stage of the Last Interglacial age along the Kuwana Fault (north of the Asake River), the junction of the Kuwana Fault, Yokkaichi Fault and Aguragawa Anticline (Yokkaichi-port Fault) (between the Asake River and Kaizo River) and Yokkaichi Fault (south of the Kaizo River) is 75 m ~ 160 m, 15 m ~ 50 m and 25 m ~ 100 m including maximum error in each site. This elevation distribution shows bimodal with depression at the junction of three active structures.

Keywords: Ise Plain, Subsurface Geology, Last Interglacial deposits, Active structure, Kuwana Fault, Yokkaichi Fault, Yokkaichi-Kou Fault

要 旨

地盤調査ボーリング資料の分析と中位段丘の調査（文献調査・空中写真判読・地表踏査）に基づいて、伊勢平野北部の最終間氷期の海成泥層と同時期の段丘面の高度分布を検討した。その結果、最終間氷期前期以降における桑名断層（朝明川以北）桑名断層－四日市断層－阿倉川背斜（四日市港断層）接合部（朝明川～海蔵川間）および四日市断層（海蔵川～鈴鹿川間）の上下変位量は、誤差範囲を最大に見込んでそれぞれ 75 m ~ 160 m, 15 m ~ 50 m, 25 m ~ 100 m で、構造接合部で極小となる双峰型の分布を示すことが明らかとなった。

1. はじめに

伊勢平野北部の北勢平野（吉田, 1984）の西縁を画する桑名断層と四日市断層は、共に南北走向の逆断層であり、一連の活断層と考えられてきた（たとえば地震調査研究推進本部, 2001）。しかし、両者は約 2.5 km の間隔をあけて雁行配列し、雁行部には北北西－南南東走向の四日市港断層が隣接する（桑原・松永, 1975）。桑名断層と四日市断層および四日市港断層の連続性や活動様式を検討する上で、活構造の接合部の地質構造と断層変位速度の分布を明らかにすることは重要であろう。筆者は、既存ボーリング資料・反射法地震探査資料を収集するとともに段丘に関する文献調査、空中

写真判読および地表踏査を加え、一連の基準面の構造（標高分布）を明らかにした。また、その結果に基づいて、第四紀後期における断層変位速度分布と活構造の接合部の構造形態、およびその活動様式について考察した。

2. 基準面の認定

伊勢湾北部周辺には、^{あつた}熱田層（松沢・嘉藤, 1954; 松澤・桑原, 1964）、^{みたち}御館層（Kimura, 1971; 松井, 1971）、古伊勢湾層（赤嶺, 1962）などと呼ばれる「中位段丘堆積物（たとえば名古屋グループ, 1969）」が広く分布する。これらは、段丘構成層として、下部の温暖・高海水準期の生物群集を産する海成細粒堆積物と、上部のやや風化した礫を含む粗粒堆積物からなり、堆積物最上部にマンセル色表示で 7.5YR 程度の色相をする褐色表土を伴う、という共通する特徴をもつ（後述）。このうち、下部の海成細粒堆積物と上部の粗粒堆積物の境界（以下、部層境界とよぶ）は、段丘から沖積平野地下まで広範囲に追跡されている（たとえば松澤・桑原, 1964; 社団法人日本建築学会東海支部ほか, 1969; 社団法人土質工学会中部支部, 1988）。また、この部層境界は、漸移関係（たとえば牧野内ほか, 2013）ないし整合関係にあり、一連の堆積作用が継続する中で形成された層相境界と考えられている。このため、この部層境界は、初生的に平坦で、かつ短期間に特定の環境で形成された可能性が高い。以上の点から、中位段丘堆積物中の海成細粒堆積物と粗粒堆積物の境界は、第四紀後期の

*Corresponding author: Komatsubara, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: komatsubara-t@aist.go.jp
1 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

上下地殻変動を明らかにする上で良好な基準面となると考えられる。

本論ではこの部層境界，すなわち社団法人日本建築学会東海支部ほか（1969）によって定義された熱田層中の5枚の粘土層のうちの下位から2番目の粘土層（第4粘土層）の上面を中位段丘海成泥層上面（ α 面）と仮称し，その基準面としての適用性を検討する。

2.1 基準面の定義

はじめに α 面の層位を確認・定義する。

社団法人日本建築学会東海支部ほか（1969）や桑原ほか（1982）は，名古屋市周辺の地盤図作成のために収集したボーリングデータより，①「熱田層」には下位から第5～第1の5層の粘土層が挟在し，②このうち第5粘土層は熱田層下部の主体をなして連続的に分布する，③その上位の第4～第1粘土層は砂質層と指交してレンズ状に分布する，④第4粘土層は名古屋市南西部では貝化石を含み第5粘土層上に直接壘重している，⑤第4粘土層より上位にはOn-Pm-1など火山碎屑物が含まれる，⑥第4粘土層と第3粘土層間の砂礫層（福東砂礫部層：桑原，1975）は，堆積域縁辺部で下位の地層を谷状に削り込んで堆積している，ことを示している。また，⑦第4粘土層より下位の砂層とそれより上位の砂層との間では，砂層中の岩片の組成（名古屋グループ，1969）や標準貫入試験による N 値（桑原ほか，1982）が異なっていることも，指摘されている。これらの点から，社団法人日本建築学会東海支部ほか（1969）は第4粘土層の上面を境として熱田層下部と同上部の境界とした。この考えを踏襲して，本論では第4粘土層の上面を α 面と定義して，基準面の適用性を議論する。

2.2 基準面の適用性に関する検討

本面が広域的な地殻変動の指標としてどの程度の有効性をもつか，すなわち，①短期間に形成されたか，②初生的に一連の平坦面ないし緩傾斜面として形成されたか，③形成後の浸食作用により広範囲に削剥されていないか，あるいは削剥された範囲を特定できるか，④広域にわたって追跡可能か，の4点について検討する。

2.2.1 短期間に形成されたか

この部層境界は，沖積層の中部泥層/上部砂層境界と同様に，堆積環境の変化を反映したものと考えられ，基本的には内湾の底置層と三角州の前置層との境界と捉えることができる（たとえば岩崎ほか，2008）。このような堆積環境に規定された堆積物の層相境界は，時間面と斜交する（たとえば海津，1994；山口ほか，2006）。この点から， α 面の形成に要した時間幅について

検討する。

濃尾平野周辺では， α 面の下位にあたる熱田層下部層の海成泥層より，MIS 5eに降下した（町田・新井，2003）Aso-3 テフラが見出されている（宮川・吉川，1996）ほか琵琶湖湖底の最終間氷期のテフラと考えられるBT-36（吉川・井内，1991）が見出されている（牧野内ほか，2001）。また，各地の中位段丘下部の海成泥層に関する，珪藻・花粉・有孔虫（濃尾平野第四系研究グループ，1977），花粉および珪藻（名坂，1983；吉田，1984），珪藻（森，1980），花粉（中村，1962）などの分析結果は，一致して温暖ないしやや温暖で高海水準期の堆積物であることを示し，本部層が最終間氷期前期の最高海水準期（MIS 5e）前後の堆積物であることは広く認められている（たとえば桑原，1968；濃尾平野第四系研究グループ，1977；森，1980；桑原ほか，1982；吉田ほか，1991；海津，1996；牧野内ほか，2001，2013）。

一方，この基準面の上位（熱田層上部層の下部）には，濃尾平野の多くの地点で，約10万年前とされるMIS 5cピーク前後に噴出したとされる（町田・新井，2003）On-Pm-1が認められている（Kobayashi *et al.*, 1968；坂本ほか，1984；水野，1996；牧野内ほか，2001など）。本地域の南方・津市沖の海底ボーリング（天野ほか，2020のGS-1B18-2孔）においても，中位段丘堆積物下部の海成泥層を覆う深度40.5mの砂-シルト互層（section 4 上部）よりOn-Pm-1由来の火山ガラス・直方輝石および角閃石が，他のテフラ起源物質と混淆することなく検出されている（天野私信，2021）。

このことから，津よりもOn-Pm-1の給源の御岳火山に近い本調査地域では， α 面は最終間氷期前期（約12.5万年前のMIS 5e～約10万年前のMIS 5c）の間の約2.5万年以内に形成されたと考えられる。

2.2.2 初生的に一連の平坦面ないし緩傾斜面として形成されたか

この部層境界は，上述のように最終間氷期前期の内湾の底置層と三角州の前置層との境界とみなされることから，現在の海底地形から想定できるように，厳密には初生的に平坦面をなしていたとは言えない（増田ほか，2013）。また，MIS 5eからMIS 5cピークに至る期間の汎地球規模の海水準変動幅は，数10mに達し（たとえばSpratt and Lisieck, 2016），地域によっては中位段丘堆積物下部の海成泥層と上部の砂質層の堆積期の浸食谷が形成されて，下部層上面の一部は削剥されたと考えられる（たとえばSakai, 1981）。

この場合， α 面形成時の起伏を評価するにあたって，1) 現世（完新世）の伊勢湾の海底地形・海底地質からのアナロジー，2) 高密度ボーリングによって本面の標

高分布が明らかにされている地域の事例に基づく検討、の2方向からの検討が必要であろう。

1) 現世の伊勢湾の海底地形は、国土地理院(1969, 1973, 1975, 1977, 1978など)によって詳細が明らかにされており、それによると木曾三川をなど伊勢湾北岸～北西岸に流入する河川の三角州前面は、T.P.-5 m～-20 mを境として明瞭に前置斜面と底置面に分けられ、鈴鹿川河口近傍を除くと両地形区と堆積物の境界はおおむね調和的ないし若干の粗粒物質が底置面上にまで分布している。この底質状況は、天野ほか(2019)もほぼ追認している。この底置面には、1/150～1/1000(0.38°～0.075°)程度の緩やかな起伏は存在するが、これを刻み込む削剥地形は長良川河口付近の幅250 m程度の「みお」状の凹地を除いて認められない(国土地理院, 1973)。また、調査地域(鈴鹿川河口部以北)沖の海域における現伊勢湾最深部の深度はT.P.-30 mである(国土地理院, 1973)。

以上から、 α 面形成時の水深は中等潮位の5 m～30 m程度下位であり、形成時に最大に見積もって約30 mの起伏をもっていたが、旧河道延長のみお筋跡を除いて、おおむね1/150よりも低勾配の非常に緩やかな斜面ないし平坦面をなしていた可能性が高いと考えられる。

2) 一方、濃尾平野東部の高密度ボーリングデータを基に断面図を作成し、層序を詳しく検討した牧野内ほか(2005)は、濃尾平野地下の地層境界は、いずれの層準においても細かな凹凸を含む鋸歯状を示すことを指摘している。その比高は、熱田層下部泥層の上に熱田層上部砂質層が整合的に累重する場所について、牧野内ほか(2005, 2013)の図から読み取られる限り、約1 km区間あたりで数m以下である。この起伏の中には、 α 面を挟んで下位の泥層と上位の砂質層が漸移的である(牧野内ほか, 2013)ため、肉眼観察による土質判定の個人差によって生じた誤差も含まれる。

以上から、ボーリングデータから求められる α 面の高度には、たとえ削剥を受けていない場合でも局所的に数mの起伏(誤差)を持つこと、広域的に見た場合には最大30 m程度の起伏が含まれること、という問題が含まれると考えられるが、その限界の中ならば基準面とみなして差し支えない程度に平坦と言うことができる。

2.2.3 形成後の削剥について

沖積層基底礫層が熱田層下部まで削り込んでいる場合(たとえば名古屋港周辺:名古屋港管理組合, 1961)には、 α 面が削剥された範囲をかなり詳細に絞り込むことが可能であり、実際には大きな問題とならない。

本地域でも、たとえば四日市市街地南部・四日市工業高校において沖積層下からATテフラが産出している

こと(四日市市遺跡調査会, 1992)から推察されるように、 α 面はすべて整合的な地層境界ではなく一部には谷沿いに削剥された不整合面であると考えられる。特に、熱田層上部が下部層を削り込む場合には、その範囲を特定することが困難な場合が少なくない。 α 面の定義に関連して先述したように、第3粘土層下位の砂礫層(福東砂礫層)は、細長い範囲で下部層上面を削剥する谷を形成して堆積している例がある(杉崎・柴田, 1960の海津層;濃尾平野第四系研究グループ, 1977;桑原ほか, 1982)。この埋没谷は(恐らくMIS 5d)の小規模な海面低下に伴うものと考えられる(桑原ほか, 1982)が、その分布や削剥量は明らかにされていない。この点から、ボーリングデータからは認識困難な中位段丘堆積物堆積時の削剥作用を受けた場所が地域的にまとまって存在している可能性は否定できない。したがって、ボーリングデータが希薄な地域では、このような熱田層上部堆積時の谷が上部の細粒堆積物を削剥している場所について、その範囲を判別することは難しいと言わざるを得ない。

2.2.4 追跡可能性に関する検討

先述の通り、 α 面は熱田層の第4粘土層の上面に相当する層準と定義されるが、これは堆積域の縁辺部で熱田層下部を構成する海成泥層上部に砂層が挟在することを反映したものであり、貝化石や軽石に関する記載がない柱状図では第4粘土層とその上位の粘土層(熱田層上部層中の粘土層)の判別が困難である。また、熱田台地周辺のように堆積盆地の縁辺部では、熱田層下部の海成泥層から貝化石がほとんど産出しない(たとえば社団法人土質工学会中部支部, 1988;牧野内ほか, 2013)ことや、第4粘土層と第3粘土層が場所により連続すること(桑原ほか1982)、から既往ボーリングデータのみで α 面を確定することは、実際上困難である。牧野内ほか(2013)は、社団法人日本建築学会東海支部(1969)とは異なって第4粘土層を熱田層上部に含めているが、このことは両研究における定義や層序区分の考え方の違いよりも、本質的に堆積盆地縁辺部では熱田層の下部と上部を区別することが難しいことを反映したものと考えることができる。こうした場所では、先述のように砂層のN値によって堆積物を区分する場合にも、砂の粒度や礫の含有率など多くの要因によって隣接する地点でもN値が大きく異なることがあり、現実には α 面を確実に認定できないことが多い。

さらに、最終間氷期～完新世の長期にわたって木曾三川や員弁川の河道・河口部が位置していたと考えられる桑名市中心市街周辺では、熱田層上部やその上位の濃尾層中に、河道を埋めて堆積した砂層・砂礫層が多く含まれており、それらが支持層となって掘り止め

されていることも相まって確実に α 面を確認できるボーリングデータは少ない。このため、この地域では個々の地盤調査ボーリングデータから α 面を認定することは困難である。

2.2.5 基準面追跡の手法

以上を総合すると、堆積域の中心部に近い伊勢湾沿岸部では α 面は比較的容易に追跡でき、その高度分布は地殻変動の良好な指標となるが、堆積域の縁辺部（丘陵縁近くや、熱田層上部堆積時に河川が流入していた地域）では α 面を確実に追跡できるとは限らないと言える。

しかし、堆積域の縁辺部でも、高解像度の反射法探査データがある場合および沖積層～中位段丘堆積物上部層の構造が明確な場合には、周辺の良好なボーリングデータから、 α 面相当を側方に追跡することは可能である。当地域では最近四半世紀の間に数多くの高分解能反射法探査が行われており、良質なボーリングデータと組み合わせることによって、ボーリングデータの不足を補うことができる。

また、調査地域は、昭和期の大規模開発や地盤沈下と関連して、詳しく層相が記載されたボーリングデータが多数存在し、公表されている（たとえば建設省計画局・愛知県・三重県、1962；北伊勢地盤沈下調査会、1967）。さらに、本調査に当たり愛知県域を含めて約2700本のボーリングデータを新たに収集した。これらボーリング柱状図について、断面図を作成し、層相の変化や地質構造を読み取りながら、①明らかに沖積層（あるいは中位段丘面）の下位にあって泥層の N 値が3以上30未満（おおむね5～20）、砂層の N 値が10以上40未満（おおむね平均15～30）の単層が連続する層準、②貝殻を含む泥層ないしは厚さ数 m 以上連続する泥層、③貝殻を含む地層とその上位の腐植を含む地層とその境界、に着目して各層の標高を読み取った。なお、 α 面が明確に認定できないボーリング柱状図については、④社団法人日本建築学会東海支部ほか（1969）の基準に従って N 値10～40程度の砂層は α 面より下位、 N 値5～30程度の砂層は α 面より上位とみなし、周辺の地質との連続性を考慮して判断した。

その結果、調査地域全体で約420か所から α 面の標高を求めることができた。このうち約220点は柱状図の記載の詳しさと、層相のとらえやすさの点から、単一の柱状図だけではほぼ確実に α 面が確定できるが、残る約200点に関しては不確かさが残る。後者については、全体の構造を把握するための参考資料として用いた。

3. 使用した資料

本研究では、地盤調査ボーリング資料として、①三重県建設技術センターが取りまとめた三重県の資料、②木曾岬町・桑名市・朝日町・川越町・四日市市の資料、③四日市港管理組合の資料、④水資源機構の資料、⑤中日本高速道路株式会社の資料、⑥国土交通省中部地方整備局三重河川国道事務所および木曾川下流河川事務所の資料、⑦KUNIJIBAN所収資料、⑧建設省計画局・愛知県・三重県（1962）所収資料、を用いた。また、地点数は少ないものの層序ボーリング資料として、⑨通商産業省工業技術院地質調査所（1964）、⑩北伊勢地盤沈下調査会（1967）、⑪栗田（1997）を用いた。

また、反射法地震探査資料については、京都大学理学部ほか（1996）、栗田（1997）、Ishiyama *et al.*（2004）、三重県（2004、2005）、小松原ほか（2020）を参照した。

4. 段丘調査

ボーリングデータの α 面に対比される、最終間氷期前期の段丘面の高度を求めることを目的として、文献調査、空中写真判読、地表踏査を行った。

調査地域は、広範囲にわたって人工地形改変を受けて自然地形が失われている上、都市化によって露頭は極めて少なくなっており、確実に段丘を対比・編年する資料を地表踏査によって得ることは難しい。しかし、昭和の大規模開発期に行われた地質調査によって、今では観察できない露頭に関する資料が豊富に記録されており、それを基に対比・編年を再検討することは可能である。

この状況を考慮して、旧版（主として戦後の米軍撮影）空中写真と、国土地理院により1960年代に発行された旧版1/25,000地形図を用いて空中写真判読図を作成した上、既往調査資料を精査し、文献の記載を確認しながら地表踏査を行った。踏査に当たっては、特に段丘堆積物について詳しく記載されている木村（1971）、Kimura（1972）、森ほか（1977）、吉田（1984）、吉田ほか（1991）等の記載内容を確認することに留意しつつ、段丘面上の表土の色調、礫の風程度、段丘堆積物最の層相等を記載した。

これらの調査結果を基に、先述の α 面に対比可能と考えられる中位（最終間氷期前期）段丘面を特定し、その陸側崖基部（後述）の高度を測定した。段丘の陸側崖基部高度は、人工改変を受けていないこと、および斜面堆積物に覆われていないこと、が確認できる地

点について、市町発行の1/2,500都市計画図（等高線間隔2m）を用いて計測した。

5. 調査結果

5.1 ボーリングデータの分析結果

ボーリングデータを基に得られた α 面の標高分布と、主要な層序ボーリングにより確実に α 面が認定できた地点におけるその標高を第1図に示す。 α 面を確実に認定できる地点が少ない桑名市中心市街地周辺と鈴鹿川右岸については、等高線を破線で示す。

この図より、 α 面の高度は、1) 調査地域北部の桑名市大山田川付近で最も深く、T.P.-88 mを示すが、全体として南ほど浅くなる傾向があること。2) 桑名断層と四日市断層の接合部（海蔵川右岸）には、北北西-南南東方向に舌状に伸びる高まり（阿倉川背斜）が存在すること、3) 阿倉川背斜を境として南では α 面の深度がおおむねT.P.-30 mないしそれ以浅と浅いこと、4) 大山田川付近では断層東側の傾動帯の幅は500 m未満と狭いが、朝明川以南の桑名断層と四日市断層では断層東側に幅1 kmないしそれ以上の傾動帯を伴うこと、などを読み取ることができる。

5.2 段丘調査結果

木村（1971）およびKimura（1971, 1972）、森・伊勢湾西岸グループ（1974）は、中位段丘堆積物を、①海成細粒堆積物を挟み、その上位に礫質層を伴う旧期中位段丘堆積物（中位段丘上位面）と、②それを浸食する礫質堆積物によって直接構成される新期中位段丘堆積物（中位段丘下位面）、に2分したが、この段丘区分はその後の段丘研究において踏襲されている。このうち前者は最終間氷期前期の段丘面である可能性が高い。そこで、最終間氷期前期の段丘を特定するため、各地の旧期中位段丘堆積物に関する文献中の記載を検討し、地域ごとに以下の事実を確認した。

1) 桑名市西方地区：馬道層（木村，1971）（＝桑名層：松井，1971）は、木村（1971）、松井（1971）、Kimura（1972）、森・伊勢湾西岸グループ（1974）によって、下部にサンドパイプを含む砂層が存在し、それを同層上部砂礫層が覆っていることが記載されている。馬道層下部砂層中のサンドパイプの長さは20 cm程度と記載され（木村，1971）、この層準は海成堆積物と考えられる。

2) 朝日町の埋縄地区：この地区の中位I段丘堆積物(t3)は吉田ほか（1991）による、海成粘土層を挟有する礫層・砂層・含礫砂層などによって構成されることが示されている。海成粘土層からは海棲～汽水棲を主とするケイソウ化石群集と、ハンノキ属、コナラ属や

スギ属およびブナ属、トウヒ属、ツガ属など、温帯性～冷温帯性の花粉化石群集が得られている（吉田ほか，1991）。なお、吉田ほか（1991）に記載された露頭は、2017年の調査時には一部が残っていたが、2019年の調査時点では地層ごとすべて失われていたため、正確な標高ではないが、海成粘土層上面の標高は約40 m～42 mと考えられる。

3) 海蔵川左岸（阿倉川地区）：この地区の中位I段丘堆積物（吉田ほか，1991；四日市市（1990）の阿倉川段丘とほぼ同じ）について、北條（1922）は段丘崖下部に厚さ1尺～8尺の粘土層が礫層に挟まれて挟在していたこと、それが窯業原料として用いられていたことを記載している（吉田ほか，1991）。また段丘地下の深度10 m～20 mには貝化石を含む粘性土が連続的に分布することが四日市市（1990）に記載されている。これらは、同一層準の海成粘土層であり、それを礫層が覆って段丘が形成されているとみなされる。

4) 海蔵川右岸・御館地区と生桑地区：この地区の御館段丘堆積物（木村，1971；赤嶺（1959）の御館貝層を含む）は赤嶺・安田（1958）、Araki（1959）、赤嶺（1959）、木村（1971）およびKimura（1972）、名坂（1983）によって詳しく記載されている。御館地区ではマガキ、ウネナシヤマトガイ、ウミナナおよび有孔虫の化石（Araki，1959）を、生桑地区ではマガキ・アカガイ化石のほか海棲ケイソウ化石群集を産する（名坂，1983）粘土～シルト層と、それを覆う砂質～砂礫質層が観察されている。これらの化石を産する地点の標高は、御館地区で40 m（木村・竹原，1965）ないし32 m～35 m（木村，1971）、生桑地区で15 m～17 m（木村，1971）ないし20 m程度である（名坂，1983）。この地区では、下部の粘土～シルト層と上部の礫層は漸移する（木村，1971）。

5) 鈴鹿川右岸：鈴鹿市中心市街の位置する段丘を構成する野村層（竹原・木村，1962；赤嶺・安田（1958）の伊勢神戸貝層を含む）について、林ほか（1958）、赤嶺（1959）、竹原・木村（1969）は、マガキ化石を含む海成堆積物が礫層下に挟在することを記載している。

以上の段丘構成層は、表土の色調や礫の風化程度および段丘面の開析程度から、最終間氷期前期の最大海氾濫期の海成層とそれを覆って堆積した海成～河口ないし河川成の段丘と考えてよいだろう。

一方、既往研究には海成層が挟在することを明記する露頭記載がないものの、Kimura（1972）や吉田（1984）の地質図では旧期中位段丘堆積物（御館段丘堆積物）として記されている、三滝川から鈴鹿川の間（三滝川）の丘陵東縁の中位段丘については、地表踏査によって堆積物を確認するように努めた。その結果、以下の結果が得られた。

①天白川左岸・東日野町の「ひよこ保育園」近くの標高 37 m 付近の地点では、厚さ 150 cm 以上の淘汰の良い未固結細粒砂層が認められた。

②天白川右岸の県立四日市南高校西側の標高 18 m ~ 24 m 付近では、厚さ数 m のシルト混じり細粒砂層が認められた。

これらは、確実とは言えないものの、上記 5 地区の旧期中位段丘堆積物と対比できる可能性が高いことを示す資料とみなすことができるだろう。

以上に記す「旧期中位段丘堆積物」の典型的なものが構成する段丘面を、ここでは中位 1 段丘 B と仮称する。

一方、今回改めて行った人工地形改変前の空中写真の判読と現地踏査から、中位 1 段丘 B より 1 段高位に最終間氷期前期に形成された可能性のある段丘（中位 1 段丘 A）が広く存在することが明らかになった。この段丘は、①「中位段丘高位面」とは比高数 m 以下の段丘崖を境として高位に位置し、②褐色～赤褐色の表土を伴い、クサリ礫を含まない、という特徴をもつ。

地表踏査結果を要約して北から順に記す。

1) 桑名市西方地区（丘陵縁）：この地区には、太田・寒川（1984）では M1 面、吉田ほか（1991）では高位 III 段丘、岡田・東郷（2000）では fM1 と、馬道面とは区別して分類され、石村（2013）では Md1 に、石山ほか（2019）では中位段丘面（古期）として馬道面と一括されている段丘がある。

今回の地形判読では、この段丘面は馬道面と比高 3 m ~ 5 m の低崖によって境されており、馬道面よりも 1 段高位の段丘面と考える。段丘面上には 7.5YR4/6 ~ 5YR4/8（褐色～赤褐色）の色調の明褐色表土とクサリ礫を含まないが表面に厚さ数 mm 以下の風化被膜が発達する多種の礫からなる礫（層）が散見される。礫は多種の礫種の亜円礫を主体とし、やや淘汰が悪い、径 20 mm ~ 200 mm のものからなり、全体として上方細粒化傾向を示す。この礫の風化程度や表土の色調は、北勢平野周辺や伊勢湾対岸・知多半島の高位段丘面のものとは明らかに異なっており、むしろ「旧期中位段丘堆積物」に近い。また、この段丘堆積物の厚さは少なくとも 5 m 以上、おそらく 10 m 以上に達する。

2) 朝日町埋縄地区（尾根上）：この地区の段丘について、吉田ほか（1991）は中位 I 段丘、岡田・東郷（2000）は fM 面、石山ほか（2019）は中位段丘面（新期）として一括している。特に石山ほか（2019）では、この段丘が、平行する構造による撓曲変形を受け、階段状に変位していると判読している。

しかし、この段丘面の中の、最も標高の高い段丘面（石山ほか、（2019）で撓曲崖と判読した斜面の最も西側の斜面より西の尾根頂部を構成する平坦面）を、本調査では他の段丘とは異なる古い段丘と判読して区

分した。

2 区分した段丘面の中の高位のもの（西側に分布するもの）は、7.5YR 4/6（一部 5YR4/8）を呈する褐色～赤褐色の礫を含む表土を伴う。表土や堆積物に含まれる礫はかなり風化が進んでいるがクサリ礫はほとんど含まれない。礫は多種の礫種の亜円礫を主とする礫からなり、シルト混じりの基質中に基質支持の状態に含まれる。礫の風化程度や表土の色は、桑名市西方地区の中位 1 面 A とよく似ている。吉田ほか（1991）で記載された埋縄地区の「旧期中位段丘堆積物」との関係を確認できるような、両者の境界部の露頭は見いだせなかったが、斜面下方の旧期中位段丘堆積物と比較して表土の色調が赤みを帯びているという違いは認められる。

3) 四日市市生桑地区（生桑配水池周辺）：太田・寒川（1984）、吉田（1984）および鈴木ほか（2010）では段丘面として記載されていないが、尾根上の平坦な地形から段丘面と判読できる細長い平坦面が認められる。

生桑地区では段丘基盤をなす東海層群は約 20° 西傾斜するが、これを傾斜不整合に覆ってほぼ水平に成層した礫・シルト混じり細粒～中粒砂が分布する（第 2 図）。その中の礫は径 10 mm 以下のものが多く、風化被膜の発達した礫が多いが、クサリ礫は認められない。平坦面上には 7.5YR4/6 の色調を呈する褐色表土が認められる。この堆積物中の礫の風化程度や表土の色調は桑名市西方地区の中位 1 面 A とよく似ている。

このほか、天白川左岸の西日野地区と、同右岸の日永地区にも、これに対比される可能性がある小規模な段丘状の地形が尾根上に認められるが、両地区では確実な段丘堆積物を確認できなかった。

以上より、本地域では最終間氷期前期に形成された



第 2 図 四日市市生桑地区における中位 1 段丘 A と東海層群の露頭 スケールは 2 m。
Fig. 2 An outcrop of the middle I terrace deposits A' and Tokai Group in Ikuwa, Yokkaichi City. Scale is 2 m length.

可能性をもつ段丘として、本論では中位1段丘Aと同Bの2つを併記する。今後さらに検討を要するが、今の段階ではこの2つの段丘面の両方を最終間氷期前期以降の地殻変動の指標として議論する。

6. 考察・検討

地層や段丘面を変位基準として地殻変動を議論する場合、最も信頼できる方法は、旧汀線高度に基づいて離水後の上下変動量を推論する方法であろう。しかし、当地には後述するように単純に波食面が離水した海成段丘は存在しないため、旧汀線高度による地殻変動復元法をそのまま適用することはできない。一方、この地域では桑名断層・四日市断層沈下側の平野地下で広く α 面の高度が明らかにされていることから、仮に同時代の旧汀線高度を明らかにすることができたならば、断層変位量分布を明確にすることができると期待される。

このような点から、海成層を三角州性ないし河成の堆積物が覆う当地の中位1段丘Bないしそれより高位の中位1段丘Aをもとに旧汀線高度による変位復元に準ずる地殻変動復元のための手法を検討する。このために、まず段丘面の形成・分化について考察し、ついで陸成段丘の陸側崖基部と α 面を指標とした場合の誤差について検討した上、最後にこれらから求められる地殻変動像について考察する。

6.1 中位段丘面の成因について

当地の中位1段丘AおよびBは、分布状況（伊勢湾と平行して丘陵の東縁に沿って分布すること）から海成段丘である可能性と想定された。しかし、これらの上部を構成する砂礫層は多くの場合淘汰が悪く礫の円磨度も低い。中位1段丘Bの堆積物上部（海成細粒堆積物よりも上位の砂礫層）について、木村（1971）、Kimura（1972）は粒径・礫の円磨度・礫種などから詳細に検討し、これが海浜の堆積物ではなく、河川性のものであることを明らかにしている。中位1段丘Aについては、露頭が限られているため詳細な検討は困難であるが、散在する礫の径や形などから、中位1段丘Bと同様に少なくとも最上部は陸成の堆積物であると考えられる。

しかし、それらは分布から高海水準期の堆積物である可能性が高いと考えられる。このため、現在の臨海沖積平野と同様に、その陸側段丘崖基部（陸側の崖麓線）の高度は当時の海面より若干（おそらく数m）高いと考えられるが、海水準と比較して数10mも高い位置に堆積面が形成されたとは考え難い。この点については十分な検討が必要であるが、筆者は地域的な地殻変動

量の指標としては議論に用いることができると考えた。

この観点から、旧汀線高度に準じる基準として陸側段丘崖基部の高度を計測し、第3図に示す。このうち、中位1段丘Aの高度は、最終間氷期前期の最高海水準の最高値（これ以上は高くなったとは考え難い）という意味をもつと考えられる。

6.2 中位段丘面の分化に関して

6.2.1 中位1段丘Aと中位1段丘Bについて

中位1段丘Aが認められる場所は、後述する鈴鹿川右岸地区を除いてすべて中位1段丘B（＝中位段丘上位面）の陸側段丘崖基部の高度が40m以上の場所と一致しており、それより低い三滝川左岸（阿倉川地区）や四日市断層南部（内部川左岸・小古曾地区）には中位1段丘Aは分布しない。また今までに得られた観察では桑名市西方地区において中位1段丘Aは厚さ5m以上の堆積物をもつことから、一連の海進に伴う堆積物によって形成されている可能性が高い。

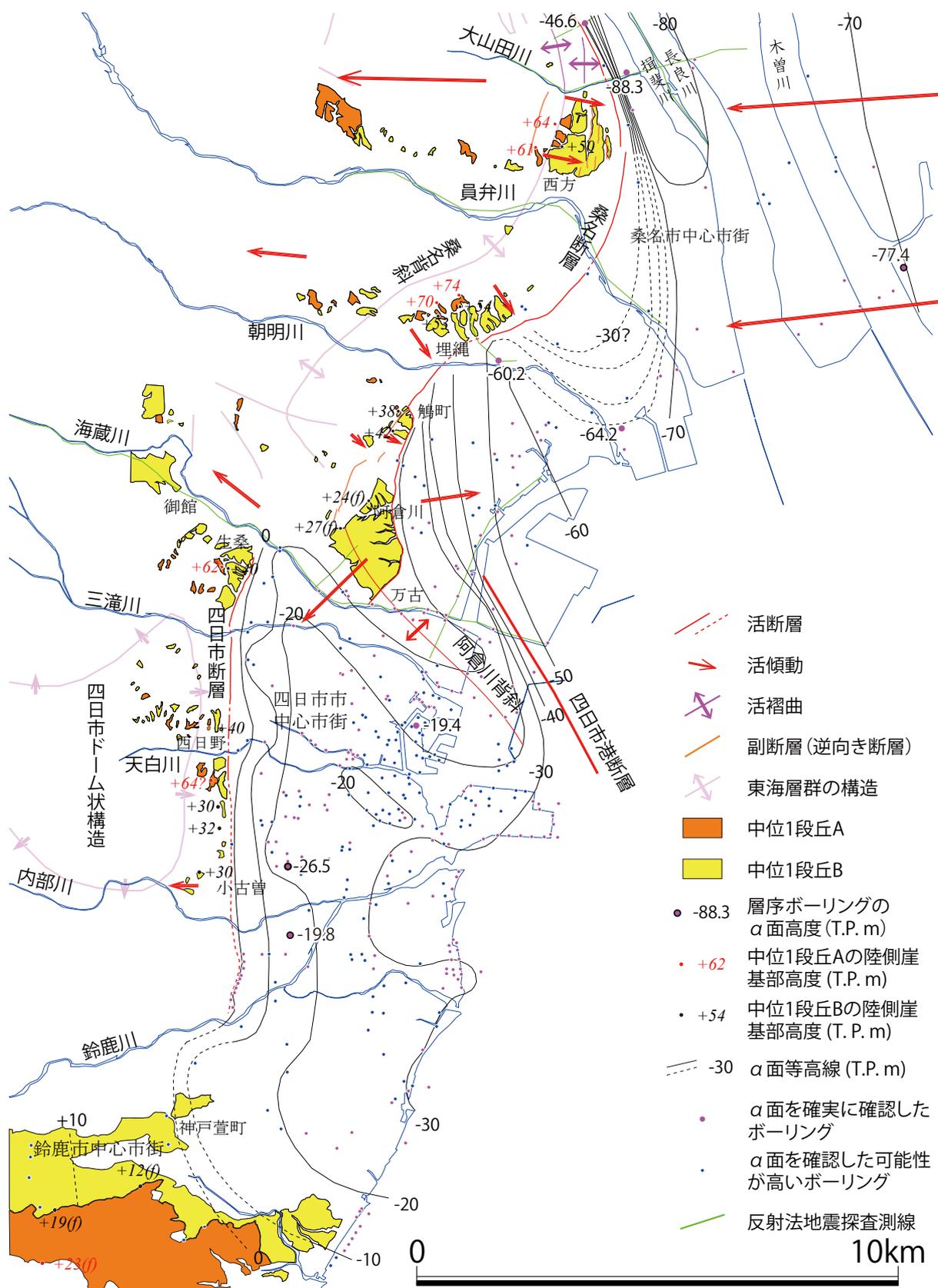
露頭が少なく確実なことは言えないが、このような段丘面の分布や堆積物の状況から、中位1段丘Aは隆起速度が大きな場所で最終間氷期前期の最大海氾濫期（MIS 5 e）の直後から始まった河川堆積物による埋積作用の途中に隆起・陸化して段丘面を構成していると考えられるのではないだろうか。逆に中位1段丘がAとBに分化していない地域では、隆起速度が小さかったために、隆起量を上回る埋積によって中位1段丘A離水期の堆積物上に河川成堆積物がさらにオーバーラップして堆積したため、中位1段丘面Aが離水しなかったのではないだろうか。このことは、中位1段丘Aが分布しない阿倉川段丘では海成細粒堆積物を覆って厚さ10m～20mに達する厚い粗粒堆積物が分布すること（四日市市，1990）からも支持される。

この問題に関しては、堆積物供給速度と隆起速度がともに大きく、後期更新世の編年に有用なテフラが豊富にある地域で、検証することが必要ではないだろうか。

6.2.2 鈴鹿川右岸の中位段丘について

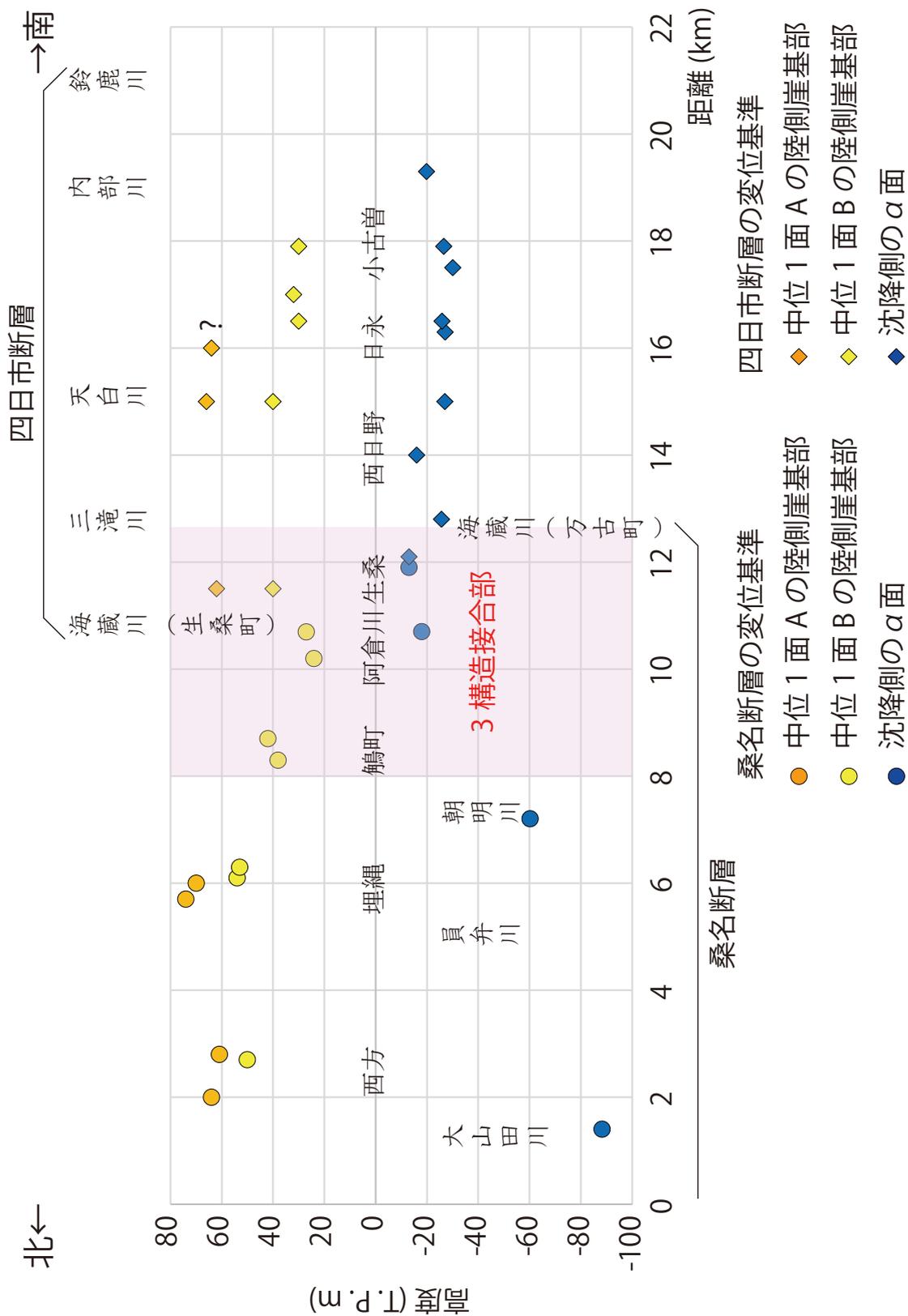
従来の研究（赤嶺，1959；Kimura，1971，1972；木村1971；吉田，1984；鈴木ほか，2010）で中位段丘面として一括されてきた野村層の堆積面（神戸面）は、比高1m～3mの低崖によって2段に区分される（たとえば石村，2013）。このうち、マガキの産出地点（林ほか，1958；赤嶺，1959；森・伊勢湾西岸グループ，1974）から確実に海成堆積物が認定された鈴鹿市神戸萱町（現鈴鹿市神戸8丁目）は、低位の段丘面上に位置する。この事実を重視して、今回は神戸萱町のマガキ化石産出地点を含む段丘面を中位1段丘B、その高位の中位

北勢平野の地質構造



第3図 α面と中位1段丘の陸側崖基部高度.

Fig. 3 Elevation of the "α surface" and landward cliff angle of the middle terrace.



第4図 桑名断層 - 四日市断層の上下変位量分布.

Fig. 4 Vertical displacement along the Kuwana Fault and Yokkaichi Fault.

段丘を中位1段丘Aと対比した。

しかし、マガキ化石産出層準に対してその上位の砂礫層が堆積物浸食段丘 (fill-strath 段丘) のベニヤ礫層として不整合にこれを覆っている可能性もあり、この対比に関しては未解決の問題が残されている。この点についても、今後地下地質データの精査・段丘堆積物上部の砂礫層の堆積様式や地質年代の検討を通じて検証していく必要がある。

6.3 地殻変動量推定の誤差

地下の α 面の形成された当時の古水深についても、2.2.2で記したように現在の伊勢湾海底の状況から考えて最深で中等潮位下30m程度という、漠然とした誤差範囲が想定できるだけである。この点については、今後古水深指標を用いた検討などを通じて誤差範囲を狭くしていくことが求められる。また上述のように中位段丘の陸側崖基部高度は地殻変動の指標として用いる場合には少なからぬ誤差が含まれる。

しかし、現状で以下の点を確認できる。

①成因から考えて、初生的に α 面は河川の河口部で浅く、伊勢湾の中央に向かって深くなっていたと考えられる。また、河道の延長上に発達する「みお筋」沿いでは細長い凹地が初生的に形成されていた可能性がある。

②中位1段丘の陸側崖基部の高度は、現在の北勢平野の沖積平野の標高(海拔高度:谷底低地状の部分以外の臨海低地では全域が5m未満)から形成時の海面高度と比較して5m以上高い位置に形成されたとは考えにくい。

以下では、この2点を前提として、誤差を見込んだうえで上下地殻変動に関する議論を進める。

6.4 活構造の変位量分布

α 面高度-中位1段丘AおよびBの陸側段丘崖基部高度を基に、桑名断層、四日市断層および四日市港断層-阿倉川背斜の上下変位量の分布を論じる。

第4図に、南北断面に投影した、断層の沈降側における α 面と、隆起側における中位1段丘A・Bの陸側段丘崖基部の高度分布を示す。

この図からは、以下の点を読み取ることができる。

①断層の沈降側と隆起側における基準面の比高は、朝明川以北の桑名断層で大きく、 α 面-中位1面A間で130m~160m、 α 面-中位1面B間で110m~140mである。3つの構造が接合する朝明川-海蔵川間では、両者の比高が小さく、 α 面-中位1面B間で50m程度である。海蔵川以南の四日市断層については、 α 面-中位1面A間で80m~100m、 α 面-中位1面Bで60m~70m程度である。6.3に記したように、この中には、隆起側で最大+5m、沈降側で最大-30mの、当時の海

水準からの比高が含まれることを考慮すると、上下変位量の下限値はこの値から35m減じた値を取ることになる。なお、埋縄地区と生桑地区の消失した露頭でかつ確認された、汽水性珪藻化石群集やマガキ化石を含む海成泥層の出現標高は、中位1段丘Bの陸側崖基部高度よりも10m~20m低い、この議論ではどちらの値を用いても本質的に大きな違いはなかった。

②桑名断層と四日市断層の変位様式を比較すると、桑名断層では断層東側の沈降量が西側の隆起量を上回っているが、四日市断層では逆に断層西側の隆起量が東側の沈降量を上回っている。

③この変位量分布は、四日市港断層-阿倉川背斜の変位が、濃尾平野の大きな(急速な)沈降を伴う桑名断層と、濃尾平野と比較して沈降量(速度)の小さな四日市平野の沈降を伴っている四日市断層の間の、変位量(速度)の違いによって生じる歪を解消する役割を担っていることを示唆する。

謝辞:この調査に当たり、3章に記した多数の機関の方々からボーリング資料を提供いただきました。地質情報研究部門の和田明美氏には多くのボーリングデータを正確に入力していただきました。活断層・火山研究部門の大上隆史氏、佐藤善輝氏をはじめとする地質情報研究部門平野地質研究グループの各位には、多くのご助言をいただきました。記して感謝の意を示します。

文 献

- 赤嶺秀雄(1959)三重県北部地方の新生代層。資源総合開発研究所研究報告, no.1, 51-60.
- 赤嶺秀雄(1962)伊勢湾北部臨海地帯の地質構造。建設省・愛知県・三重県編「都市地盤調査報告書」, 1, 20-32.
- 赤嶺秀雄・安田敏夫(1958)三重県北伊勢地方の新生代。「北伊勢地方の古生物と地質」三岐鉄道株式会社・三重県立博物館, 50-61.
- 天野敦子・清家弘治・大上隆史・田村 亨(2019)伊勢湾・三河湾の海洋堆積物採取調査の概要。平成30年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 地質調査総合センター速報, no.79, 1-11.
- 天野敦子・田村 亨・佐藤善輝・大上隆史・佐藤智之(2020)伊勢湾ボーリング試料の岩相と層序区分。令和元年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 地質調査総合センター速報, no.21, 25-33.
- Araki Y. (1959) A Pleistocene marine fauna from near the cities of Tsu and Yokkaichi, Mie Prefecture, Southwest Japan. *Transaction of Proceedings of Paleontological Society of Japan, New Series*, no.33, 19-22.

- 栗田泰夫 (1997) 桑名断層の第四紀後期の活動性調査. 平成8年度活断層研究調査概要報告書, 地質調査所研究資料集, no. 303, 95 – 104.
- 林 唯一・加納富夫・林 幹雄 (1958) 三重県四日市市附近の新生代層. 愛知学芸大学研究報告 (自然), no.7, 97 – 105.
- 北條敬太郎 (1922) 三重県東部工業原料用鉱物調査報告文. 工業原料用鉱物調査報告, no. 10, 1 – 32.
- 石村大輔 (2013) 第四紀後期の伊勢湾西岸地域の段丘形成過程と地殻変動. 地学雑誌, **122**, 448 – 471.
- Ishiyama, T., Mueller, Togo, M., Okada, A. and Takemura, K. (2004) Geomorphology, kinematic history, and earthquake behavior of the active Kuwana wedge thrust anticline, central Japan. *Journal of Geophysical Research*, **109**, B12408, doi:10.1029/2003JB002547, 2004.
- 石山達也・鈴木康弘・千田 昇・廣内大助 (2019) 1:25,000 活断層図 養老 - 桑名 - 四日市断層帯とその周辺「桑名 (改訂版)」。国土地理院.
- 岩崎英二郎・須貝俊彦・栗田泰夫・杉山雄一 (2008) ボーリングコア解析に基づく熱田層および沖積層の堆積環境の比較. 日本地理学会発表要旨集, **73**, 159.
- 地震調査研究推進本部 (2001) 養老 - 桑名 - 四日市断層帯の評価. 地震調査研究推進本部ホームページ (https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/67_yoro_kuwana_yokkaichi.pdf) (閲覧日: 2021年8月20日)
- 建設省計画局・愛知県・三重県 (1962) 伊勢湾北部臨海地帯の地盤 (都市地盤調査報告書 第1巻). 大蔵省印刷局, 334p. + 7 図.
- 木村一郎 (1971) 伊勢湾西岸地域の中位段丘. 竹原平一教授記念論文集「中部地方の鮮新統および更新統」, 1 – 12.
- Kimura I. (1971) Pleistocene sediments and geomorphic development in the west coast area of Ise Bay, Japan Part 1. *The Bulletin of Aichi University of Education, (Natural Science)*, no.20, 165 – 181.
- Kimura I. (1972) Pleistocene sediments and geomorphic development in the west coast area of Ise Bay, Japan Part 2. *The Bulletin of Aichi University of Education, (Natural Science)*, no.21, 125 – 150.
- 木村一郎・竹原平一 (1965) 伊勢湾南部沿岸の段丘 (予報). 第四紀研究, **4**, 69 – 81.
- 北伊勢地盤沈下調査会 (1967) 北伊勢地盤沈下調査報告書. 三重県企画開発課, 221p.
- Kobayashi, K., Minagawa, K., Machida, M. Shimizu, H. and Kitazawa, K. (1968) The Ontake pumice-fall deposit PM-1 as a Late Pleistocene time-marker in central Japan. *Journal of Faculty of Science, Shinshu University*, **3**, 171 – 198.
- 国土地理院 (1969) 1 : 25,000 土地条件図「桑名」.
- 国土地理院 (1973) 沿岸海域基礎調査報告書・1 : 25,000 沿岸海域土地条件図「四日市・津地区」. 43p. + 付図 2.
- 国土地理院 (1975) 沿岸海域基礎調査報告書・1 : 25,000 沿岸海域土地条件図「松坂地区」. 43p. + 付図 2.
- 国土地理院 (1977) 沿岸海域基礎調査報告書・1 : 25,000 沿岸海域土地条件図「半田地区」. 43p. + 付図 2.
- 国土地理院 (1978) 沿岸海域基礎調査報告書・1 : 25,000 沿岸海域土地条件図「師崎地区」. 51p. + 付図 2.
- 小松原 琢・秋永康彦・澤田基貴・末廣匡基・寺田龍矢 (2020) 三重県四日市市垂坂断層の反射法地震探査速報. 令和元年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 地質調査総合センター速報, no.21, 85 – 95.
- 桑原 徹 (1968) 濃尾盆地と傾動地塊運動. 第四紀研究, **7**, 235 – 247.
- 桑原 徹 (1975) 濃尾傾動盆地の発生と地下の第四系. 「愛知県地盤沈下報告書」愛知県, 111 – 182.
- 桑原 徹・松永久夫 (1975) 伊勢湾北部の活断層 - 四日市港断層について -. 第四紀学会講演要旨集, **4**, 15.
- 桑原 徹・松井和夫・吉野道彦・牧野内猛 (1982) 熱田層の層序と海水準変動. 第四紀, no. 22, 111 – 124.
- 京都大学理学部・(財) 大阪土質試験所・阪神コンサルタンツ (株)・(株) 地球科学総合研究所・水資源開発公団中部支社・建設省中部地方建設局 (1996) 反射法地震探査による桑名断層および伊勢湾断層の深部形態. 地震予知連絡会会報, **55**, 558 – 570.
- 町田 洋・新井房雄 (2003) 新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺]. 東京大学出版会, 336p.
- 牧野内 猛・森 忍・壇原 徹・竹村恵二・濃尾地盤研究委員会断面 WG (2001) 濃尾平野における沖積層基底礫層 (BG) および熱田層の年代 - 臨海部ボーリング・コアのテフラ分析に基づく成果 -. 地質学雑誌, **107**, 283 – 295.
- 牧野内 猛・内園立男・塚本将康・濃尾地盤研究委員会断面 WG (2005) 濃尾平野東縁部の地盤構成. 土と基礎, **53**, 29 – 31.
- 牧野内 猛・塚本将康・壇原 徹・山下 透・内園立男・濃尾地盤研究委員会断面 WG (2013) 濃尾平野東

- 部の地下地質. 地質学雑誌, **119**, 335–349.
- 増田富士夫・佐藤智之・伊藤有加・櫻井皆生 (2013) Shazam 層序学をボーリングデータベース解析へ適用する試み – 大阪平野の表層地質研究を例に –. 地学雑誌, **122**, 892–904.
- 松井和夫 (1971) 三重県北部の第四系. 竹原平一教授記念論文集「中部地方の鮮新統および更新統」, 13–26.
- 松澤 勲・嘉藤良次郎 (1954) 名古屋及び附近の地質. 同地質図. 愛知県建築部, 35p.+1 図.
- 松澤 勲・桑原 徹 (1964) 濃尾平野の地下構造とその構成「伊勢湾台風災害調査報告」名古屋大学災害科学調査会, 15–39.
- 三重県 (2004) 平成 15 年度伊勢平野に関する地下構造調査成果報告書. (<https://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/Mie8frm.htm>) (閲覧日: 2021 年 8 月 20 日)
- 三重県 (2005) 平成 16 年度伊勢平野に関する地下構造調査成果報告書. (<https://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/Mie9frm.htm>) (閲覧日: 2021 年 8 月 20 日)
- 宮川ちひろ・吉川周作 (1996) 濃尾平野の中～後期更新世火山灰層序. 日本第四紀学会講演要旨集, **26**, 76–77.
- 水野清秀 (1996) TB-1 コア中の火山灰・軽石分析. 「名古屋港西地区ボーリングコア分析調査報告」, 名古屋市総務局, 35–37.
- 森 一郎・伊勢湾西岸グループ (1974) 伊勢湾西岸の第四系. 第四紀, no.20, 54–63.
- 森 一郎・木村一朗・山田 純・竹原平一 (1977) 内陸盆地としての伊勢湾西岸地域. 地質学論集, no.14, 185–194.
- 森 忍 (1980) 濃尾平野下の熱田層のケイソウ群集, 瑞浪化石博物館研究報告, no. 7, 73–83.
- 名古屋港管理組合 (1961) 名古屋港の地盤. 名古屋港管理組合, 36p.+2 図
- 濃尾平野第四系研究グループ (1977) 濃尾平野第四系の層序と微化石分析, 地質学論集, no. 14, 161–183.
- 名古屋グループ (1969) 伊勢湾周辺の第四系. 地団研専報, no. 15, 319–328.
- 中村 純 (1962) 濃尾平野及びその周辺地域の第四系堆積物の花粉分析学的研究. 高知大学研究報告(自然), **21**, 1–45.
- 名坂 秀 (1983) 伊勢湾北西岸中位段丘の微化石. 名古屋地学, no. 43–44, 1–15.
- 岡田篤正・東郷正美 (2000) 近畿の活断層. 東京大学出版会, 東京, 395p.
- 太田陽子・寒川 旭 (1984) 鈴鹿山脈東麓地域の変位地形と第四紀地殻変動. 地理学評論, **57**, 237–262.
- Sakai, J. (1981) Late Pleistocene climatic changes in Central Japan. *Journal of Faculty of Science, Shinshu University*, **16**, 1–54.
- 坂本 亨・桑原 徹・糸魚川淳二・高田康秀・脇田浩二・尾上 亨 (1984) 名古屋北部の地質. 地域地質研究報告 5 万分の 1 図幅. 地質調査所, 64p.+1 図.
- 社団法人土質工学会中部支部 (1988) 最新名古屋地盤図. 487p.+3 図.
- 社団法人日本建築学会東海支部・社団法人土質工学会中部支部・名古屋地盤調査研究会 (1969) 名古屋地盤図, コロナ社, 279p.+3 図.
- Spratt, R. M. and Lisiecki, L. E. (2016) A Late Pleistocene sea level stack. *Climate of the Past*, **12**, 1079-1092 doi: 10.5194/cp-12-1079-2016.
- 杉崎隆一・柴田 賢 (1960) 地下水の地球化学的研究 (第 1 報) – 濃尾平野の地下構造と帯水層の分布 –. 地質学雑誌, **67**, 335–345.
- 鈴木康弘・千田 昇・渡辺満久 (2010) 1:25,000 都市圏活断層図「四日市」. 国土地理院技術資料 D・1-No.542.
- 竹原平一・木村一朗 (1962) 伊勢湾西岸の段丘面と第四系 (予報). 第四紀研究, **2**, 188–195.
- 竹原平一・木村一朗 (1969) 伊勢湾西岸の“高位礫層”の層位. 第四紀研究, **8**, 73–80.
- 通商産業省工業技術院地質調査所 (1964) 桑名・四日市地区地下構造調査報告書. 31p.
- 海津正倫 (1994) 沖積低地の古環境学. 古今書院, 270p.
- 海津正倫 (1996) 熱田台地・熱田層の形成に関する若干の問題. 名古屋大学文学部研究論集 (史学), **42**, 169–182.
- 山口正秋・須貝俊彦・大上隆史・藤原 治・大森博雄 (2006) 高密度ボーリングデータ解析にもとづく濃尾平野沖積層の三次元構造. 地学雑誌, **115**, 41–50.
- 四日市市 (1990) 四日市市史第一巻 資料編 自然. 四日市市, 436p.
- 四日市市遺跡調査会 (1992) 四日市市遺跡調査文化財調査報告書 IX 上野遺跡 2, 四日市市遺跡調査会, 76p.
- 吉田史郎 (1984) 四日市地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 81p.
- 吉田史郎・栗本史雄・宮村 学 (1991) 桑名地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 154p.
- 吉川周作・井内美朗 (1991) 琵琶湖高島沖ボーリングコアの火山灰層序. 地球科学, **45**, 81–100.