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

石 村 大 輔*

Processes of Terrace Formation and Crustal Movement during the Late Quaternary on the West Coast of Ise Bay

Daisuke ISHIMURA*

[Received 28 May, 2012; Accepted 18 February, 2013]

Abstract

Fluvial and marine terraces have been used as geomorphic indicators to reconstruct the paleoenvironment and estimate crustal movements. This study focuses on the west coast of Ise Bay, where fluvial terraces are widely distributed and active faults have developed. The region is located far from active volcanoes; therefore, terrace chronology and processes of terrace formation during the late Quaternary have been poorly established. This study applies a tephra analysis of aeolian deposits covering terrace surfaces to identify invisible tephra horizons, and discusses the chronology and processes of terrace formation. Furthermore, it estimates crustal movements during the late Quaternary using altitudes of climatic terrace surfaces and data on subsurface geology.

The tephra analysis identifies widespread tephtras such as Kikai-Akahoya tephra (K-Ah: 7.3 ka) and Aira-Tn tephra (AT: 26-29 ka) from aeolian deposits. Whether or not Kikai-Tozurahara tephra (K-Tz: 95 ka) covered terrace surfaces is assessed from the existence of β -quartz. Based on these tephtras and geomorphic features, it is deduced that terrace formation in the study area corresponds to climate changes. In particular, L2 and Md1 terraces that formed during Marine Isotope Stage (MIS) 2 and MIS 5e are important landforms for discussing the processes of terrace formation in response to climate changes. The process of L2 terrace formation indicates that a decrease in precipitation is a major factor of terrace formation upstream during glacial periods.

Uplift and subsidence rates during the late Quaternary are estimated not only along active faults but also in areas remote from them. The distribution of uplift and subsidence is consistent with geomorphic and geologic features. This implies that movements of active faults greatly affected geomorphic and geologic development in the study area since they began to move. Based on uplift and subsidence rates across the faults, vertical slip rates of the Yoro, Kuwana, and Yokkaichi faults are estimated at > 1.7 mm/yr, 1.0-1.2 mm/yr, and 0.5 mm/yr, respectively.

Key words : tephrochronology, terrace, crustal movement, Ise Bay, Nobi Plain, Yoro-Kuwana-Yokkaichi fault zone

キーワード : テフロクロノロジー, 段丘, 地殻変動, 伊勢湾, 濃尾平野, 養老-桑名-四日市断層帯

* 千葉大学大学院理学研究科地球生命圏科学専攻地球科学コース

* Department of Earth Sciences, Graduate School of Science, Chiba University, Chiba, 263-8522, Japan

I. はじめに

段丘地形（海成・河成）は、その地形的特徴と形成過程に基づき、形成当時の古環境（海水準や河川環境）の復元や地殻変動量の推定を行う上で重要な指標として古くから用いられてきた。日本国内における段丘の形成は、貝塚（1969）に代表される気候変動・海水準変動に対応した段丘形成モデルで説明され、上流から中流部ではおもに気候変動による河川環境（堆積物供給量や掃流力）の変化により、下流部ではおもに侵食基準面である海水準の変動により河成・海成段丘が形成されたと考えられてきた。実際、日本の多くの河川で気候変動・海水準変動に伴って同様の段丘面が形成されていることが確認されている（Machida, 1980; 久保, 1997; 高木ほか, 2000 など）。これらの研究の多くは、年代指標であるテフラが多く降灰している中部地方以東の地域で行われてきた。一方、近畿地方から東海地方にかけては、降灰するテフラの量が少なく、テフロクロノロジー（火山灰編年学）による段丘の編年学的研究が少ない。そのため、近畿地方から東海地方における段丘形成に関する研究は中部地方以東に比べて進んでいない。また、東北日本では、気候段丘の高度分布に基づき第四紀後期の地殻変動量の推定が内陸部の広域で行われている（田力・池田, 2005）。しかし、西南日本では一部の河川沿いで段丘地形に基づいた地殻変動量が報告されているのみで（吉山・柳田, 1995; 田力ほか, 2011）、より広域で地殻変動量の分布を明らかにした研究はない。このように西南日本における確度の高い段丘の形成年代は、中部地方以東の地域と段丘形成過程を比較するだけでなく、西南日本の内陸部のテクトニクスを考える上でも重要な情報になる。

そこで本研究では、近畿地方から東海地方にかけて最も段丘の発達した地域のひとつである伊勢湾西岸地域を対象とし、広域テフラを指標として段丘面の対比と形成年代の推定を行い、段丘形成過程について考察する。さらに、段丘地形に基づく地殻変動量の推定法（吉山・柳田, 1995）を適用することで本地域周辺の過去約 10 万年間の地

殻変動量を推定し、断層の活動度や周辺の地形・地質と地殻変動の関係を議論する。なお、本研究のテフラ分析結果の一部は、Ishimura and Kakiuchi (2011) ですでに報告されているが、本稿ではさらに多くの地点での分析結果を加えて、伊勢湾西岸地域の貝弁川から鈴鹿川までの段丘の編年および形成過程について論じる。

II. 地形・地質概観

研究地域は、近畿三角帯（Huzita, 1962）の南東部にあたり、鈴鹿山脈の東麓部から伊勢湾にかけての範囲である（図 1）。研究地域の地質については、山地は基盤岩、丘陵は東海層群の未固結堆積物から構成され、それらの上に段丘堆積物^{りゅうがだけ}が分布する。鈴鹿山脈東麓の基盤岩は、竜ヶ岳（図 2）を境に北側では中生界の堆積岩類であり、南側では白亜系の花崗岩類である（水野ほか, 2009）。東海層群は、鮮新-更新統の河成-湖成堆積物である（水野ほか, 2009）。

伊勢湾西岸地域における段丘の分布は、鈴鹿東縁断層帯と養老-桑名-四日市断層帯の間とくに発達する（図 2）。段丘面の記載や対比は、Kimura (1971, 1972, 1973)、宮村ほか (1981)、吉田 (1984)、太田・寒川 (1984)、原山ほか (1989)、吉田ほか (1991) などにより行われているが、年代指標に乏しく、統一された指標は沿岸部の段丘構成層中に挟在する海成粘土のみである。片岡・吉川 (1997) は、鈴鹿川沿いの段丘に対して広域テフラを用いた編年を試み、始良 Tn テフラ (AT) と鬼界アカホヤテフラ (K-Ah) 起源の火山ガラスを段丘面上の被覆層中から発見し、この分析結果と被覆層の風化程度に基づき段丘面の形成年代を推定している。しかし、鈴鹿川沿い以外の地域において広域テフラを用いた段丘面の対比および形成年代の推定は行われていない。

一方、伊勢湾西岸地域の断層変位地形については、貝塚 (1950) により最初に桑名で指摘され、太田・寒川 (1984) により概略的な段丘面の記載と詳細な断層変位地形の記載や変位量の計測が行われ、本地域の概観がまとめられた。その後、鈴木ほか (1996a, b, c)、岡田・東郷 (2000)、

図 1 調査地域周辺の地形と活断層の分布。

(a) 近畿地方の活断層分布図。活断層の位置は中田・今泉 (2002) に従う。(b) 調査地域周辺の地形と活断層の分布。活断層の位置は本研究による。陰影図の作成には、国土地理院発行の 10 m メッシュ数値地図標高データを用いた。

Fig. 1 Geomorphology and active faults around the study area.

(a) Distribution of active faults in the Kinki District. Surface traces of active faults are from Nakata and Imaizumi (2002). (b) Shaded relief map from the western part of the Nobi Plain to the west coast of Ise Bay. This map is from 10-m DEM of the Geospatial Information Authority of Japan. Surface traces of active faults are from this study.

池田ほか (2002) により、詳細な活断層図が作成されている。一方、段丘に関する研究は太田・寒川 (1984) 以降、各地域の段丘構成層や被覆層の概括的な記載に関するものに限られ、段丘の形成年代や形成過程についてはほとんど明らかにされていない。

活断層については、鈴鹿東縁断層帯と養老-桑名-四日市断層帯において、地下構造探査 (戸田ほか, 1997; 石山ほか, 1999; 三重県, 1996, 2003, 2004; Ishiyama *et al.*, 2004, 2007; Sato *et al.*, 2009), 大深度ボーリング調査 (須貝ほか, 1998, 1999a), 古地震調査 (三重県, 1996, 2002; 須貝ほか, 1999b; 鳴橋ほか, 2004; 大上・須貝, 2006; Naruhashi *et al.*, 2008; 丹羽ほか, 2009) が行われ、両断層帯の性質 (最新活動時期・活動間隔・活動度・断層の地下形状等) が明らかにされている。鈴鹿東縁断層帯と養老-桑名-四日市断層帯

(図 1) は、ともに南北走向で西傾斜の逆断層から構成される。また、伊勢湾内には、南北走向で西側低下の伊勢湾断層、南北走向で東側低下の四日市港・鈴鹿沖断層、東西走向で南側低下の白子-野間沖断層が分布する (図 2: 岩淵ほか, 2000; 岡田ほか, 2000)。

III. 研究方法

1) 段丘面区分

国土地理院撮影の縮尺 10,000 分の 1 および縮尺 20,000 分の 1 の空中写真を用いて、段丘面の分布・現河床からの比高・開析度・勾配などの地形的特徴とその上下関係に基づき段丘面区分を行った。その後、露頭で段丘構成層や被覆層の風化程度を確認し、段丘面区分の再検討を行った。

2) テフラ分析

パーカッション採土器 ((株) 大起理化工業製)

図 2 伊勢湾西岸地域の地形面区分図。

四日市港断層と鈴鹿冲断層の位置は、岡田ほか（2000）に従う。基盤岩の分布は、50,000 分の 1 地質図幅「彦根東部（宮村ほか, 1976）」、「津島（高田ほか, 1979）」、「御在所山（原山ほか, 1989）」、「桑名（吉田ほか, 1991）」、「亀山（宮村ほか, 1981）」、「四日市（吉田, 1984）」に基づく。

Fig. 2 Geomorphologic map of the west coast of Ise Bay.

The Yokkaichi-ko and Suzuka-oki faults are from Okada *et al.* (2000). Geology is modified after Miyamura *et al.* (1976, 1981), Takada *et al.* (1979), Yoshida (1984), Harayama *et al.* (1989), and Yoshida *et al.* (1991).

を用いて、段丘面上で被覆層の掘削を行い、分析用試料を採取した。被覆層と段丘構成層の境界に関しては、色や層相などの肉眼による観察に加え、砂の含有率を指標として用いた。同一地点の被覆層と段丘構成層では、段丘構成層の方が粗い粒子から構成されるため、被覆層から段丘構成層にかけて含砂率が増加する層準をその境界と判断した。掘削地選定の際には、後背地に中生界の堆積岩類が分布する貝弁川沿いでも掘削を行った。この理由は後背地が花崗岩類の場合、被覆層中の砂粒子の含有率が大きくなり、火山ガラスなどのテフラ起源物質の含有率が低くなるためである。

テフラ分析には、5 cm 間隔（一部は 10 cm 間隔）で採取した掘削試料のうち約 15 g を用いた。一部の試料は、掘削試料と同様に露頭から採取した。分析の手順は以下の通りである。はじめに超音波洗浄機を用いて試料の洗浄を行い、ポリエステル製のメッシュを用いて 4 ϕ 以上の粒径に揃えた。これを乾燥させた後に、さらにポリエステル製のメッシュを用いて 3-4 ϕ と 3 ϕ 以上の粒径に分けた。その後、3-4 ϕ の砂粒子をプレパラートに封入し、偏光顕微鏡による観察を行った。偏光顕微鏡下の観察では、火山ガラス・ β 石英・重鉱物（角閃石・斜方輝石・単斜輝石等）・プラントオパール・その他の粒子の数を数えた。本研究では、碎屑粒子中におけるテフラ起源物質の含有率を求めるため、生物起源の粒子（プラントオパールなど）を除いて火山ガラスの含有率を算出した（母数 400 粒子以上）。加えて、プレパラート 1 枚に含まれる β 石英の数を数えた（母数 2000 粒子以上）。火山ガラスの屈折率については、京都大学大学院理学研究科所有の温度変化型屈折率測定装置 RIMS87（（株）京都フィッシュン・トラック製）を用いて測定した。また一部試料については、初磁化率の測定を行った。測定は、試料を 7 cc のキューブにつめて、京都大学大学院人間・環境学研究科所有の Bartington Susceptometer MS2 を用いて行った。初磁化率は 1 試料につき 5 回測定し、その平均を算出し、重量あたりの初磁化率に換算した。

3) テフラの対比および層準の認定

テフラの同定と層準の認定に使用した指標は、火山ガラスの含有率・火山ガラスの屈折率・ β 石英の含有量である。本研究で対比した広域テフラは、K-Ah テフラ（7.3 ka, 屈折率 $n = 1.504-1.512$ ）、AT テフラ（26-29 ka, 屈折率 $n = 1.498-1.501$ ）である。また、第四紀後期に本研究地域に降灰した広域テフラのうち β 石英を含むテフラは鬼界葛原テフラ（K-Tz）（95 ka）に限られる（町田・新井, 2003）。そのため、本研究では、 β 石英に基づいて K-Tz 降灰時期と段丘面の離水時期の関係を推定した。以上のテフラの年代と火山ガラスの屈折率の値は、町田・新井（2003）による。

K-Tz 層準には、風化により火山ガラスがほとんど含まれていないため、石村（2010）や垣内ほか（2010）と同様に β 石英を K-Tz の指標とした。しかし、本地域の被覆層に含まれる β 石英の含有率は、岐阜県の関ヶ原地域（石村, 2010）や滋賀県の湖西地域（垣内ほか, 2010）より小さく、多くの地点で 1% 以下である。そのため、 β 石英の含有率のみに基づいて K-Tz 層準の認定を行うことはできない。ただし、関ヶ原地域や湖西地域においては、K-Tz 降灰以前に形成された段丘の被覆層中には β 石英が含まれるが、K-Tz 降灰以後に形成された段丘の被覆層中には β 石英はほとんど含まれない（石村, 2010; 垣内ほか, 2010）。そこで本研究では、AT 層準より下位の複数の層準で β 石英が検出された場合は、K-Tz 降灰以前にその段丘が形成された可能性があると判断した。

K-Ah 層準と AT 層準については、火山ガラスの含有率と屈折率に基づき層準を認定した。石村（2010）や垣内ほか（2010）の結果と同様に、両者の火山ガラスは同一層準中に混在しているため、火山ガラスの屈折率の違いを利用して求めた AT/K-Ah 比（石村, 2010; 垣内ほか, 2010）の変化に基づき K-Ah と AT の層準を認定した。AT/K-Ah 比については、石村（2010）に従い、火山ガラスの屈折率と形態に基づき K-Ah と AT とその他の 3 つに分類し、それらの割合を求めた。

AT降灰後に形成された段丘面上の被覆層中では、火山ガラス含有率のピークが3-5%前後であり、ほぼK-Ahの火山ガラスで構成される層準をK-Ah層準と認定した。一方、AT降灰前に形成された段丘面上の被覆層中では、K-AhとAT起源の火山ガラスが上下に分散している。そのため、AT/K-Ah比でAT起源の火山ガラスの割合が大きく、火山ガラス含有率が5%前後の部分をAT層準とし、その上位で火山ガラス含有率とK-Ah起源の火山ガラスの割合が大きくなる層準をK-Ah層準と認定した。

IV. 段丘の記載とテフラ分析結果

伊勢湾西岸地域の段丘面を高位段丘面(H面)、中位段丘面(M面)、低位段丘面(L面)、扇状地面に区分した。本地域では多くの地点で段丘面の交叉現象が確認されるが、これは段丘形成時の河床縦断面形の違いを示している(貝塚, 1969)。一部、桑名断層沿いでは断層活動に伴う変形により段丘面が交叉しているが、段丘・河床縦断面図を作成し、断層活動による累積的な変形を把握することで、初生的な河床縦断面形の違いと断層変形による段丘面の交叉を区別することが可能である。したがって、本研究では段丘面の分布や勾配に基づき高位・中位段丘面をさらに2つに区分した。山麓部に分布し段丘面の勾配が大きい段丘には「u」を付し、低地部に分布し段丘面の勾配が小さい段丘には「d」を付した。最終的には段丘の新旧関係に基づき、Hu1-3面、Hd1-2面、Mu1-3面、Md1-3面、L1-4面の計15面に区分した。テフラ分析結果を図3に、員弁川・内部川・鈴鹿川沿いの段丘・河床縦断面図を図4に示す。

1) H面

H面は著しく開析を受けているため、多くの場合やせ尾根状の地形を呈し、丘陵や山麓部で頂面を占めている。段丘構成層中の砂岩・泥岩・花崗岩はクサリ礫化し、段丘構成層中の基質や被覆層は赤色化している。

・Hu1面

Hu1面は、本地域に分布する最も古い段丘で

あると考えられる(図2)。現河床からの比高は、いなべ市藤原町では70-80m、亀山市岡尾町では50-80mであり、いずれの段丘も開析が著しく、やせ尾根状の地形を呈する。段丘構成層や被覆層は確認できなかった。

・Hu2面

Hu2面は、いなべ市藤原町から三重郡菰野町にかけての鈴鹿東縁断層帯の上盤側におもに分布する(図2)。現河床からの比高は、いなべ市藤原町では40-80m、三重郡菰野町では40-100mである。これらの段丘は扇状地性であるが、開析を受けているためやせ尾根状の地形を呈する。Loc. 10では、段丘構成層がクサリ礫化し、被覆層は赤色化している。また、Loc. 10付近では、麓村断層の活動によりHu2面が変形を受けている。

・Hu3面

Hu3面は、いなべ市藤原町から四日市市水沢町にかけての鈴鹿山脈東麓といなべ市北勢町から員弁町にかけての養老山地西麓におもに分布する(図2)。いずれの段丘も扇状地性で、その勾配は現在の河川よりも大きい。Loc. 6では、Hu3面の段丘構成層の層厚が約5mで、被覆層は赤色化している。鈴鹿山脈の東麓では、三滝川(図2)を境にして南北でHu3面の分布形態が異なる。北側では鈴鹿東縁断層帯の上盤側に小規模な扇状地性の段丘として分布する。南側でのHu3面は大規模な扇状地性の地形を呈し、現河床からの比高は内部川沿いで10-30mである(図4)。このHu3面は、吉田(1984)の水沢の古期扇状地に対応する。水沢のLocs. 17, 20では、露頭で段丘構成層を観察することができる。扇央付近のLoc. 17では、Hu3面の段丘構成層は層厚2-3mでクサリ礫化しており、東海層群を不整合に覆う。扇端のLoc. 20では、砂礫の互層からなる段丘構成層が10m以上確認できたが、その基底を確認することはできなかった。

北勢と水沢のHu3面でテフラ分析を行った結果(図3)、Loc. 6では、火山ガラス含有率とAT/K-Ah比に基づき深度15-30cmにK-Ah層準、深度40-50cmにAT層準が推定される。この地

図 3 各地点の地質柱状図とテフラ分析の結果。
破線で示したものは、確実度の低いテフラ層準である。

Fig. 3 Columnar sections and results of tephra analysis.
Dashed lines are tephra horizons with low reliability.

図4 員弁川・内部川・鈴鹿川沿いの段丘・河床縦断面図。

員弁川と内部川の段丘・河床縦断面図は、国土地理院発行25,000分の1地形図より作成。鈴鹿川の段丘・河床縦断面図は、国土地理院発行の25,000分の1地形図と鈴鹿市発行2,500分の1地形図より作成。

Fig. 4 Profiles of terrace surfaces and modern rivers along the Inabe, Utsube, and Suzuka Rivers.

Altitudes of terrace surfaces and riverbeds along the Inabe and Utsube Rivers are read from 1:25000-scale topographic maps of the Geospatial Information Authority of Japan. Altitudes of terrace surfaces and riverbeds along the Suzuka River are read from 1:25000-scale topographic maps of the Geospatial Information Authority of Japan and 1:2500-scale topographic maps of Suzuka City.

点では、K-Tz起源と考えられる β 石英がAT層準の下位の複数層準から検出される。Loc. 18では β 石英がとくに多く、ほぼ全層準から検出された。その含有量は深度60–95 cmで高い値を示す。Loc. 20では、Loc. 18同様に被覆層中の多くの層準から β 石英が検出された。Locs. 18, 20では、AT層準とK-Ah層準を確認することがで

きなかった。これはAT降灰以降の堆積物が堆積していない、もしくは侵食されたことを示していると考えられる。

・Hd1面

Hd1面は鈴鹿川右岸にのみ分布し（図2）、本地域の低地部に分布する段丘のなかでは最も高位の段丘である。鈴鹿川右岸では、丘陵の頂面

(現河床からの比高 20-40 m) を占め、段丘崖は不明瞭である。これは片岡・吉川 (1997) の大谷池面おおたにいけに対応する。段丘構成層や被覆層は確認できなかった。

・ Hd2 面

Hd2 面は、桑名、菰野北東部、鈴鹿川右岸に分布する (図 2)。段丘面は、開析を受けているが比較的平坦面が残っている。Hd2 面の段丘構成層はクサリ礫化し、被覆層は赤色化している。桑名では、Hd2 面が丘陵頂面 (現河床からの比高 60-80 m) に分布し、桑名断層により切断され、変形を受けている。Loc. 15 では、段丘構成層がクサリ礫化し、その層厚は 3-4 m である。ここでの被覆層は赤色化し、やや黒みを帯びた部分が深度 50-90 cm に挟在する (図 3)。この露頭試料を用いてテフラ分析を行った結果 (図 3)、深度 50-65 cm に β 石英含有量の大きい層準がある。K-Ah 層準と AT 層準はさらに上位にあると考えられるが、上位の被覆層は人工改変を受けている可能性が高いことと露頭状況が悪かったため試料を採取しなかった。また、この地点では段丘構成層中に火山ガラスが多い。これは東海層群起源の火山ガラスの二次堆積物を含んでいる可能性が考えられる。

2) M 面

M 面は、H 面ほど開析は受けていないが、段丘崖は丸みを帯び、開析谷に刻まれている。一部の段丘構成層の基質は風化により黄褐色を呈し、被覆層は 1 m ほどの黄褐色土と黒褐色土からなる。

・ Mu1 面

Mu1 面は、いなべ市北勢町、藤原町、三重郡菰野町の山麓部に部分的に分布する (図 2)。Mu1 面の現河床からの比高は、いなべ市北勢町では 50-60 m、三重郡菰野町では 10-30 m である。いなべ市北勢町では丘陵の頂面に分布し、菰野町では扇状地性の段丘として分布する。Loc. 1 では、Mu1 面の段丘構成層中の砂岩・泥岩が、ねじり鎌で少し削れる程度に風化しており、被覆層は少し赤色化している。

・ Mu2 面

Mu2 面は、山麓部に分布する段丘のなかで L2

面に次いで広く分布する段丘であり、いなべ市北勢町、四日市市水沢町、亀山市関町におもに分布する (図 2)。Mu2 面の現河床からの比高は、いなべ市北勢町では 20-40 m、四日市市水沢町では 0-10 m、亀山市関町では 20 m である (図 4)。Mu2 面は連続性のよい段丘で、その勾配は現在の河川より大きい (図 4)。水沢の Mu2 面は、吉田 (1984) の中期扇状地に対応する。Loc. 5 では、段丘構成層の層厚は 10 m 以上あり、砂岩・泥岩がねじり鎌で少し削れる程度に風化している。被覆層は、黄褐色土と黒褐色土からなる。

テフラ分析の結果 (図 3)、Loc. 5 では、火山ガラス含有率と AT/K-Ah 比に基づき深度 5-25 cm に K-Ah 層準、深度 40-55 cm に AT 層準が推定される。 β 石英は、被覆層中にほとんど含まれていない。Loc. 19 では、コアの上部が人工改変を受けているために、AT 層準のみが深度 40-50 cm に推定される。この地点では β 石英が被覆層中から検出されるが、段丘構成層中からも多く検出される。

・ Mu3 面

Mu3 面は、いなべ市北勢町に分布する局所的な段丘である (図 2)。現河床からの比高は、たぎり田切川沿いで 20-40 m である。田切川沿いでのみさらに細分することができるが、分布が限られ対比が困難であるためここでは一括して Mu3 面とする。田切川沿いで段丘構成層は 2 m 以上あり、被覆層は黄褐色土からなる。

・ Md1 面

Md1 面は、あさけ員弁川、かいぞう朝明川、海蔵川、鈴鹿川沿いに最も広く分布する中位段丘である (図 2)。Md1 面の現河床からの比高は、員弁川沿いでは 10-60 m (図 4)、朝明川沿いでは 10-60 m、海蔵川沿いでは 0-30 m、鈴鹿川沿いでは 10-40 m である (図 4)。この段丘は開析を受け、段丘崖は丸みを帯びている。断層活動による変形が少ない部分では、Md1 面の勾配は現河床とほぼ同様である (図 4)。員弁川、朝明川、海蔵川沿いでは、桑名断層と四日市断層の活動により、Md1 面が背斜状の変形を受けている (図 4)。員弁川中流部の段丘構成層は層厚約 5 m であり、風化

により基質の一部が黄褐色を呈する。被覆層は、黄褐色土（一部は赤色化）と黒褐色土から構成される。

テフラ分析の結果（図3）、Loc. 12では、深度10-20 cmにK-Ah層準、深度40-60 cmにAT層準が推定される。Loc. 14では、深度35-55 cmにAT層準が推定されるが、K-Ah起源の火山ガラスは上下に分散しているためK-Ah層準は不明であった。Loc. 16では被覆層は薄い^が、火山ガラス含有率とAT/K-Ah比に基づき深度35-50 cmにAT層準が推定される。深度0-30 cmでは、火山ガラス含有率が低く、耕作土であるため、K-Ah層準は不明であった。また、地域ごとに被覆層の層相や層厚は異なるが、Locs. 12, 14, 16ではAT層準より下位の複数の層準で β 石英が検出される。

・Md2面

Md2面は、員弁川左岸に広く分布する。その他の地域では、朝明川、海蔵川、鈴鹿川沿いのMd1面の下位に分布する（図2）。Md2面の現河床からの比高は、員弁川沿いでは0-20 m（図4）、海蔵川沿いでは0-20 m、鈴鹿川沿いでは0-20 mである（図4）。段丘面の開析の程度は小さく、段丘構成層はクサリ礫化していない。員弁川左岸の段丘構成層は、員弁川沿いでは層厚約5 mであるが、養老山地へ向かって薄くなる。被覆層は、黄褐色土と黒褐色土からなる。

テフラ分析の結果（図3）、Locs. 7-9では、火山ガラス含有率とAT/K-Ah比に基づきK-Ah層準とAT層準が推定される。各地点において、 β 石英は被覆層中にほとんど含まれていない。

・Md3面

Md3面は、鈴鹿川の下流部に広く広がり、沿岸部で沖積面と収斂する（図2）。鈴鹿川沿いのMd3面の現河床からの比高は、0-10 mである。その他の地域では、朝明川と海蔵川沿いに分布する。段丘構成層や被覆層は確認できなかった。

3) L面

L面は、開析をほとんど受けておらず、段丘崖は明瞭である。段丘構成層は未風化の砂礫層から構成され、被覆層はおもに黒褐色土からなる。

・L1面

L1面は、いなべ市藤原町と^{かいづ}海津市南濃町に分布する扇状地性の段丘である（図2）。この段丘は、L2面のすぐ上位に分布し、支流ごとに小さな扇状地性の地形を呈する。段丘構成層は風化をほとんど受けておらず、被覆層は黒褐色土からなる。

テフラ分析の結果（図3）、Loc. 2では、火山ガラス含有率とAT/K-Ah比に基づき深度15-30 cmにK-Ah層準、段丘構成層との境界付近にAT層準が推定される。

・L2面

L2面は、中流から上流部にかけて最も広く分布する段丘である。この段丘は、ほぼすべての河川沿いに分布し、とくに鈴鹿山脈東麓に広く分布する（図2）。いなべ市藤原町と北勢町の上流部では、L2面が丘陵間を広く埋積するように分布し、^{あげ}現河床との比高は約20 mである。さらに阿下喜より下流側では、L2面が沖積面下に没するように分布する（図4）。いなべ市藤原町から三重郡菰野町の鈴鹿東縁断層帯に沿っては、L2面が扇状地性の段丘として分布する。L2面の段丘構成層は未風化の砂礫層からなり、その層厚はLoc. 4では約15 m、田切川沿いでは約5 mである。被覆層は黒褐色土のみからなる。

テフラ分析の結果（図3）、Locs. 3, 13では、火山ガラス含有率とAT/K-Ah比に基づきそれぞれ深度20-35 cm、20-45 cmにK-Ah層準が推定される。

・L3面

L3面は現河床からの比高が10 m前後で、L2面の下位に分布する。現河床からの比高と開析の程度でL3面とL4面を区別した。段丘構成層や被覆層は確認できなかった。

・L4面

L4面は、最も新期の段丘で現河床からの比高は約5 mである。段丘面の開析の程度からL4面は完新世に形成された段丘と判断される。しかし、段丘構成層や被覆層は確認できなかった。

4) 扇状地面

扇状地面は、養老山地東麓に広くに分布する。扇状地面は、段丘化していない沖積扇状地と段丘

化した扇状地の2つに細分できるが、分布が小規模で対比が困難であるためここでは一括して扇状地面とする。

V. 段丘面の編年とその形成過程

1) 段丘面の編年

テフラ分析の結果、K-Ah (7.3 ka) 層準と AT (26-29 ka) 層準を認定し、K-Tz テフラ (95 ka) 起源と考えられる β 石英を検出した。これらのテフラと段丘面の地形的特徴に基づいて、テフラ分析を行った Hd2 面、Hu3 面、Md1 面、Md2 面、Mu2 面、L1 面、L2 面の形成年代を推定する。

・Hd2 面

Hd2 面は、Md1 面の上位に分布する段丘であり、Md1 面同様に河川の中流から下流部に広がる。Loc. 15 では、被覆層中に K-Tz 起源の β 石英が見られる。また黒みを帯びた層準では、初磁化率がやや高い傾向を示す (図 3)。被覆層中で初磁化率が高くなる理由としては、テフラ起源の強磁性鉱物か土壌起源の強磁性鉱物の存在があげられる。ここでは K-Tz 起源と考えられる β 石英が多く産出することとやや黒みがかっていることを考慮すると、この層準は MIS 5 に土壌化したためやや高い初磁化率を示すと解釈できる。またこの古土壌と推定される層準の下位にも被覆層が発達することから、この段丘は MIS 5 より前に形成されたと推定される。

・Hu3 面

Hu3 面は、鈴鹿山脈東麓部に扇状地性の段丘として広く分布する。Hu3 面が広く分布する水沢の被覆層中からは β 石英が多く検出され、K-Tz 降灰以前に形成された段丘であると推定される。

・Md1 面

沿岸部の Md1 面段丘構成層中には、海成粘土が含まれていることが古くから指摘されており (Kimura, 1972), 吉田 (1984) はその海成粘土の特徴から Md1 面を MIS 5e に形成された段丘としている。本研究のテフラ分析結果では、 β 石英が被覆層中から検出されており K-Tz 降灰以前に Md1 面が離水したと推定され、吉田 (1984) と矛盾しない。したがって、Md1 面は吉田 (1984)

同様に MIS 5e の段丘に対比される。

・Md2 面

Md2 面の被覆層中からは、K-Ah 層準と AT 層準が確認された。しかし、 β 石英が被覆層中にほとんど含まれていないことから、K-Tz 降灰以後に形成された段丘であると推定される。また Md2 面は、地形の新旧関係から MIS 4 に対比される Mu2 面 (後述) より形成年代の古い段丘である。したがって、Md2 面は、K-Tz 降灰 (95 ka) から MIS 4 までの間に形成されたと推定される。

・Mu2 面

Mu2 面は谷を埋積し、一部は扇状地性の地形を呈する。L2 面同様に下流に向かって沖積面との比高を減じ、沖積面下に没するように分布する (図 4)。テフラ分析の結果、被覆層中に K-Ah 層準と AT 層準が確認された。 β 石英は被覆層中にほとんど含まれていないことから、K-Tz 降灰以後に形成された段丘であると推定される。Loc. 19 では、 β 石英が Mu2 面の被覆層中からだけではなく段丘構成層中からも多く検出される。しかし、これは隣接する広い Hu3 面の被覆層からの再堆積である可能性が高いと考えられる。以上のことから、伊勢湾西岸地域の Mu2 面は関ヶ原地域の M2 面 (MIS 4: 55-70 ka) (石村, 2010) に対比される。

・L1 面

L1 面は、L2 面の上位に分布する扇状地性の段丘である。L2 面との比高は約 5-10 m であり、段丘構成層と被覆層の境界付近に AT 層準が推定される。このような地形的特徴とテフラ分析の結果から、伊勢湾西岸地域の L1 面は関ヶ原地域の L1 面 (20-30 ka) (石村, 2010) に対比される。本研究では、テフラ分析結果に基づき L1 面の形成年代を 30 ka 前後と推定する。

・L2 面

L2 面は、低位段丘のなかで最も広く分布する段丘である。とくに山麓部では谷を広く埋積し、下流にいくに従って現河床との比高を減じ、沖積面下に没する (図 4)。被覆層中には K-Ah 層準のみが確認され、AT 降灰以後で K-Ah 降灰以前に形成されたと推定される。三重県 (1996) に

よると Loc. 11 における L2 面構成層中の ^{14}C 年代は $16,410 \pm 70$ および $23,150 \pm 100$ yrBP である。このような地形的特徴と ^{14}C 年代から、伊勢湾西岸地域の L2 面は関ヶ原地域の L2 面 (MIS 2: 15–20 ka) (石村, 2010) に対比される。

2) 伊勢湾西岸地域の段丘形成過程

本研究において、形成年代の確度の高い段丘は、L2 面 (MIS 2) と Md1 面 (MIS 5e) である。それらに加えて重要な地形は、現在の河川が形成している地形である。これら 3 つの時期の地形に基づき段丘面の下刻・離水という過程を考える。

貝弁川沿いでは、現在、阿下喜から下流側では谷幅が大きくなり沖積面の発達がいよのに対して、上流側では谷を刻み、侵食が起きている (図 2)。同様の河川環境が Md1 面の分布からも推定でき、最終間氷期には阿下喜よりも上流側では侵食が起き、下流側に広い平坦面が発達していたと推定される。一方、L2 面の分布から最終氷期には阿下喜よりも上流側で堆積が起き、下流側では海水準の低下に伴い下刻が生じていたと推定される。このように貝弁川沿いでは、阿下喜を境に侵食と堆積が氷期と間氷期で入れ替わると推定される。同様のことが段丘の交叉現象が認められる場所を境に起きている。その段丘面が交叉する場所は、阿下喜から鈴鹿東縁断層帯に沿って南に延び、水沢では四日市断層付近まで前面に張り出す。鈴鹿川沿いでは、Md1 面が山麓部まで分布し、一方で L2 面や Mu2 面が下流側にも広がるため、その境界は不明瞭になる。

このような地形発達は、貝塚 (1969) の段丘形成モデルと同様の現象であり、本研究地域においても気候変動および海水準変動に伴い中部地方以東の地域と同様の河床縦断面形が現れることを示唆している。ただし、中流から上流部にかけての氷期の段丘形成に関しては、その要因を議論する必要がある。氷期の段丘形成の要因としては、周氷河作用による堆積物供給量の増加 (平川・小野, 1974; 伊藤・正木, 1984 など) と豪雨の減少による河川の掃流力の低下 (Sugai, 1993) の二つが考えられている。本研究地域周辺の山地の標高は低く、氷期にも周氷河作用は受けていない

と考えられる (貝塚・鎮西, 1986) ため、氷期の中流から上流部の段丘形成は河川の掃流力低下に起因すると考えられる。

このように本地域の段丘形成過程は貝塚 (1969) のモデルにおおむね適合すると考えられる。そこで、貝塚 (1969) のモデルに従って内陸側の段丘は氷期に、伊勢湾側の段丘は (亜) 間氷期に形成されたと考え、各段丘面の形成時期を各 MIS に対応させた (図 5)。ただし、Hd2 面より古い段丘面およびテフラ分析を行っていない段丘面の形成年代の確度は低い。

VI. 養老断層・桑名断層・四日市断層の上盤側の変形

本章では、大縮尺の 2,500 分の 1 地形図を用いて、養老断層・桑名断層・四日市断層に直交する段丘・河床縦断面図を作成し (図 6)、断層上盤側の変形について述べる。貝弁川沿いでは、太田・寒川 (1984) や Ishiyama *et al.* (2004) により段丘面の変形が記載され桑名断層の背後の背斜・向斜地形が指摘されているが、それ以外の地域においては資料がなく、その構造が南北へどのように連続するかはわかっていない。

背斜前翼部の段丘の変形は、多度、桑名、生桑で確認される (図 2)。各地域で Md1 面は断層活動に伴う増傾斜運動により、急傾斜 (約 8%) で沖積面に没するように分布する。このように背斜前翼部の変形は、養老断層南部-桑名断層-四日市断層北部の間で類似していることがわかる。背斜後翼部を見てみると、朝明川北岸の小牧では、Md1 面は上流側へ向かって逆傾斜 (7–20%) し (図 6)、太田・寒川 (1984) で指摘されている向斜状の変形が確認される。朝明川南岸と海蔵川北岸では、朝明川北岸と同様に Md1 面は逆傾斜 (5–6%) し、同様の変形を受けていることがわかる (図 6)。しかし、海蔵川南岸では背斜前翼部の変形は確認されるが、背斜後翼部の逆傾斜は見られない (図 6)。

これらの背斜前翼・後翼部の変形パターンは、すでに Ishiyama *et al.* (2004) で指摘されているウェッジスラストによって説明可能である。図

図 5 伊勢湾西岸地域の段丘面の形成年代と海水準変動の関係。
海水準変動曲線は、Chappell (1994) を一部改変。破線は形成年代の確度が低い段丘を示す。

Fig. 5 Correlation of global sea-level change and ages of terrace surfaces in the study area.
The sea-level curve is modified after Chappell (1994). Dashed lines are terrace surfaces with low reliability of age determination.

6 で示したように背斜後翼部の向斜状の変形は、海蔵川北岸まで追跡可能であり、Ishiyama *et al.* (2004) と同様の地下構造が推定される。一方、四日市断層の背斜部では、前翼部の変形は同様であるが、変形幅が狭いことや後翼部で向斜状の変形が見られないなどの相違点を有する。したがって、四日市断層では桑名断層とは異なる地下構造が示唆される。

VII. 段丘地形と地下地質情報に基づく 濃尾平野西部・伊勢湾西岸地域の 第四紀後期の地殻変動

1) 段丘地形に基づく隆起量の推定

V 章では、伊勢湾西岸地域でも気候段丘が形成

されていることが推定された。そこで、吉山・柳田 (1995) に基づき、段丘面の標高から第四紀後期の隆起量を推定する。隆起量に関しては、吉山・柳田 (1995) で示された TT 値 (MIS 2 と MIS 6 の段丘面の比高) と FS' 値 (MIS 5e の河成段丘面と現河床との比高) (図 6) を読み取った。

この方法に基づき隆起量を推定するためには、まず読み取る地形面 (段丘面や現河床) が平衡状態に達していることの確認が必要である。しかし、河川が平衡状態であったか否かを判断することは困難であるため、田力・池田 (2005) では、縦断形が下に凸で平滑である河川やある程度幅の広い連続的な段丘が分布している河川は平衡に達

図 6 養老-桑名-四日市断層帯沿いの断層変位。

段丘・河床縦断面図は、桑名市および四日市市発行の2,500分の1地形図より作成。断面の測線は図2に示す。

Fig. 6 Deformations along the Yoro-Kuwana-Yokkaichi fault zone.

Altitudes of terrace surfaces and riverbeds are read from 1:2500-scale topographic maps of Kuwana and Yokkaichi Cities. Profile lines are shown in Fig. 2.

している可能性が高いと判断している。本研究地域に分布する河川では、縦断面形（図4）や段丘の分布（図2）から上記の条件を大部分では満たしていると考えられる。

この前提条件に加えて、誤差に関する問題が存在する。田力・池田（2005）では以下の4つの誤差について言及している。（1）河床と段丘面

の高度測定時の誤差、（2）段丘堆積物を覆う風成堆積物や崖錐堆積物の厚さに起因する誤差、（3）段丘編年の不確実性に起因する誤差、（4）隆起速度と下刻速度の誤差。（1）について、段丘面の標高の読み取りには、各市町発行の2,500分の1地形図を用いた。それらの等高線間隔は2 mであるため、読み取り誤差は±2 mとなる。

表 1 段丘編年の確実度.

Table 1 Accuracy of terrace chronology.

段丘面の編年の確実度	確実度の判定基準
I	指標テフラや年代測定値といった絶対年代資料に基づいて、直接的に各 MIS に対比されたもの.
II	段丘堆積物を覆うレスの厚さや年代が既知の他の段丘との位置関係といった相対的な基準に基づいて間接的に MIS に対比されたもの.
III	段丘の分布・形態的特徴に基づいて各 MIS に対比可能であるもの.
IV	段丘の高度などに基づいて推定したものなど、推定の根拠が曖昧な場合.
V	段丘地形自体が不明瞭で別の要因（地すべりなど）で形成された疑いがあるもの.

田力・池田（2005）より引用.

Criteria are from Tajikara and Ikeda (2005).

読み取る隆起量は過去約 10 万年間の変形であり、速度に換算した場合の読み取り誤差は約 $\pm 0.02 \text{ mm/yr}$ となる。後の議論では速度に換算し、小数第一位までを用いるため、このような誤差は議論に影響しない。(2) については、関東地方などとは異なり本地域の段丘面を覆う被覆層は 1 m 程度であり（図 3）、地表面をほぼ段丘面の原面とみなして問題はない。崖錐堆積物については、空中写真判読に基づき離水後の堆積物に覆われているか否かを判別することができ、そのような場所では隆起量を求めていない。よって、(2) の誤差については無視できる。(3) については、田力・池田（2005）は段丘編年の確実度をテフラの有無、絶対年代試料の有無、段丘面の分布や特徴などに基づいて 5 段階で評価している（表 1）。そこで本地域に分布する段丘面の確実度を田力・池田（2005）の基準にあてはめると、L2 面と Md1 面が確実度 I となる。他の段丘面に関しては、多くの段丘が確実度 II に相当すると考えられる。(4) については、河川における隆起と下刻が釣り合わない場合には、得られた値と真の隆起量との誤差が大きくなる（田力, 2005）。田力・池田（2005）は、隆起と下刻が釣り合い平衡状態にある河川においても最上流部では下刻が隆起に追いつかず過小評価になる可能性が高いと述べている。本研究でも、山麓部に分布する段丘を用いた値は、過小評価になっている可能性がある。

しかし、この過小評価がどの程度であるかを見積もることは現段階では困難であるため、本研究ではそのままの値を用いた。

2) 地下地質情報に基づく濃尾平野西部と伊勢湾西岸地域の沈降量の推定

沈降量については、吉山・柳田（1995）の考え方を沈降域である濃尾平野西部と伊勢湾西岸地域の沿岸部にも適用し、埋没した過去の地形面の比高がその期間の沈降量に相当するとみなした。本研究では、濃尾平野の地下に分布する第一礫層（井関, 1956）と第二礫層（杉崎・柴田, 1961）をそれぞれ MIS 2 と MIS 6 の埋没段丘構成層とみなし、その礫層上面の深度の差を TT' 値（田力・池田, 2005）として読み取った。濃尾平野と伊勢湾西岸地域の地下層序を表 2 に示す。

濃尾平野の地下に分布する南陽層下部（古川, 1972）と熱田層下部（松沢・嘉藤, 1954）は、貝などの化石を含む海成粘土層であることとテフラ（牧野内ほか, 2001）や ^{14}C 年代測定結果（大上ほか, 2009 など）から、それぞれ MIS 1 と MIS 5e の海進期の堆積物と判断される。第一礫層と第二礫層は、この海進期の海成粘土層との関係から、それぞれ MIS 2 と MIS 6 に対比可能である。また須貝ほか（1999a）は、深層ボーリングコア中のテフラ層序と古地磁気層序に基づき、濃尾平野地下の堆積物の粒度と MIS の関係を明らかにし、第一礫層と第二礫層をそれぞれ MIS 2 と

表 2 濃尾平野と伊勢湾西岸地域の地下層序と MIS の関係。

Table 2 Correlation of Marine Isotope Stage and subsurface geology on the west coast of Ise Bay and the Nobi Plain.

Marine Isotope Stage	Nobi Plain	West coast of Ise Bay
MIS 1	Nanyo Formation (Furukawa, 1972)	Tomidahama Formation (Akamine, 1962) Yokkaichiko Formation (Akamine, 1962)
MIS 2-1	Nobi Formation (Furukawa, 1972)	
MIS 2	First Gravel Bed (Iseki, 1956)	Isekambe Formation (Akamine, 1962)
MIS 5d-3	Upper part of Atsuta Formation (Matsuzawa and Kato, 1954)	
MIS 5e	Lower part of Atsuta Formation (Matsuzawa and Kato, 1954)	Koisewan Formation (Akamine, 1962)
MIS 6	Second Gravel Bed (Sugisaki and Shibata, 1961)	—

MIS 6 に対比している。一方、伊勢湾西岸地域の地下層序では、熱田層上部から濃尾層に相当する部分が伊勢^{かんべ}神戸層（赤嶺, 1962）に一括され、南陽層が四日市港層（赤嶺, 1962）と富田浜層（赤嶺, 1962）に分割されている（表 2：吉田, 1984）。

これらの地下層序を踏まえて、濃尾平野西部では桑原（1985）と牧野内ほか（2001）の第一礫層と第二礫層の分布深度の差、伊勢湾西岸では建設省ほか（1962）の上部粘土層（四日市港層）下限と下部粘土層（古伊勢湾層（赤嶺, 1962））下限の深度の差を MIS 2 と MIS 6 の間の沈降量として読み取った（図 7）。これらのデータに加えて、須貝ほか（1998）（Loc. A）、須貝ほか（1999a）（Loc. B）、栗田（1997）（Locs. C, D）のボーリングデータからも TT' 値を読み取った（図 7）。須貝ほか（1998）のボーリング試料については、MIS 2 と MIS 6 の間の層準を養老断層が切断しており、断層より上の層準は上盤側（相対的に隆起側）で下の層準は下盤側（相対的に沈降側）となる。そのため MIS 2 と MIS 6 の礫層上面深度の差は断層下盤側の沈降量を示さない。そこで本研究では、MIS 6 と MIS 8 の礫層上面深度の差をその期間の沈降量として読み取った。なお、沈降量の読み取り誤差はすべて ± 5 m 以下である。

最終的に速度に換算する際の各 MIS の年代については、MIS 2: 20 ka, MIS 5e: 125 ka, MIS 6: 135 ka, MIS 8: 250 ka（Chappell（1994）から読み取り）として隆起・沈降速度を計算した。

3) 濃尾平野西部と伊勢湾西岸地域の隆起・沈降速度

濃尾平野西部から伊勢湾西岸地域の隆起・沈降速度分布を図 7 に示す。養老断層では、北部での沈降速度が最大となるが、全体としては養老断層から一様に東へ向かって沈降速度が減少していく（図 7）。Loc. A の養老断層を貫くボーリングデータ（須貝ほか, 1998）からは、沈降速度が 1.3 mm/yr（ただし MIS 6 と MIS 8 の間）と算出され、断層直下で沈降速度が最大になると推定される。上盤側については、養老山地に段丘が分布しないため西側斜面に分布する段丘のデータから推定した。西側斜面では、養老断層へ向かって隆起速度が大きくなっていく様子が確認される（図 8）。したがって、養老断層を挟んだ隆起速度と沈降速度の差は 1.7 mm/yr 以上であり、この値は養老断層の上下変位速度を表していると考えられる。

桑名断層では、断層を挟んで連続的に隆起・沈降速度を明らかにすることができた。上盤側で隆起速度が最大の部分は、断層トレースから約

図 7 濃尾平野西部・伊勢湾西岸地域の過去約 10 万年間の隆起・沈降速度分布図。

伊勢湾内の海底活断層の位置は岡田ほか (2000) に基づく。基盤岩の分布は、50,000 分の 1 地質図幅「近江長浜 (礒見, 1957)」「大垣 (礒見, 1955)」「彦根東部 (宮村ほか, 1976)」「津島 (高田ほか, 1979)」「御在所山 (原山ほか, 1989)」「桑名 (吉田ほか, 1991)」「亀山 (宮村ほか, 1981)」「四日市 (吉田, 1984)」に基づく。1～9 の活断層の名称は以下の通り。1: 関ヶ原断層, 2: 池田山断層, 3: 宮代断層, 4: 養老断層, 5: 桑名断層, 6: 麓村断層, 7: 四日市断層, 8: 四日市港断層・鈴鹿沖断層, 9: 伊勢湾断層。

Fig. 7 Distribution of uplift and subsidence rates during about 100 kyr on the west coast of Ise Bay and western part of the Nobi Plain.

Active faults in Ise Bay are from Okada *et al.* (2000). Geology is modified after Isomi (1955, 1957), Miyamura *et al.* (1976, 1981), Takada *et al.* (1979), Yoshida (1984), Harayama *et al.* (1989), and Yoshida *et al.* (1991). 1: Sekigahara fault. 2: Ikedayama fault. 3: Miyashiro fault. 4: Yoro fault. 5: Kuwana fault. 6: Fumotomura fault. 7: Yokkaichi fault. 8: Yokkaichi-ko and Suzuka-oki fault. 9: Isewan fault.

図 8 各断層を横断する方向の隆起・沈降速度の断面図。
断面の測線は図 7 に示す。

Fig. 8 Profiles of uplift and subsidence rates across each active fault.
Profile lines are shown in Fig. 7.

5 km 西側の背斜軸上である (図 8)。下盤側では断層近傍で向斜状の変形が見られるが、養老断層の下盤側の変形パターンとは異なり、沈降速度は 0.3–0.5 mm/yr で一定の値を示す (図 8)。上盤

側の背斜軸付近には段丘が分布しないため隆起速度を求めることができないが、背斜前翼部と後翼部の変形パターンから桑名断層の上盤側の隆起速度は最大でも 0.7 mm/yr 程度であると推定される。段丘が分布しない背斜軸の地下には、隆起速度を極端に増加させる断層や構造がないこと (Ishiyama *et al.*, 2004) から、背斜前翼部と後翼部の変形パターンから推定されるこの値を上盤側の最大の隆起速度と考えて問題はないと考えられる。したがって、桑名断層の上下変位速度は 1.0–1.2 mm/yr と推定される。

四日市断層では、断層近傍の上盤側に段丘が分布しないため隆起速度は不確実であるが、背斜後翼部の変形パターンから推定される隆起速度は最大でも 0.3 mm/yr 程度である (図 8)。下盤側では大きな沈降は見られず、ほぼ一定の沈降速度 (0.2 mm/yr) を示す (図 8)。したがって、四日市断層の上下変位速度は約 0.5 mm/yr と推定される。

本研究で得られた断層の上下変位速度と既存研究の結果を比較すると (表 3)、既存研究と大きな違いはない。しかし、本研究で得られたデータは、断層の活動間隔よりも十分長い期間の変形量であること、広域に隆起・沈降量を求めたこと、上盤側と下盤側で求めた変形量の時間スケールが同じであるという点から、より確度の高い値だと考えられる。表 3 を見ると各断層で若干高い上下変位速度が得られているデータは、いずれも時間スケールが 1 万年程度と短いものである。大上・須貝 (2006) では、後期更新世の段丘から求めた上下変位速度と完新世の堆積物から求めた上下変位速度を比較して、後期更新世の四日市断層の活動度が完新世に比べて低かった可能性を指摘している。しかし、逆断層の場合は、横ずれ断層や正断層と比べて地表付近で複雑な断層変位を示すこと (McCalpin, 2009) や断層の低角化による逆断層の前進 (Ikeda, 1983; 東郷, 2000) が知られており、時間スケールの違いによる上下変位速度の変化を断層の活動度の変化と結びつける際には注意を要する。今後、逆断層に関しては、上下変位速度の推定に関する基準 (年代幅や

表 3 本研究で求めた断層の上下変位速度と既存研究との比較.

Table 3 Comparison of vertical slip rates of active faults with the results of previous studies.

Fault		Vertical slip rate [mm/yr]	Time scale [yr]	Data source
Yoro	This study	> 1.7	100,000	terrace and boring data
Yoro	Sugai <i>et al.</i> (1999b)	3.3–3.5	10,000	boring data
Yoro	Ishiyama <i>et al.</i> (2007)	1.5 ± 0.2	10,000	seismic profile and boring data
Yoro	Sugai <i>et al.</i> (1998)	> 1.75	100,000	boring data
Yoro	Ishiyama <i>et al.</i> (2007)	1.2 ± 0.2	1,000,000	seismic profile and boring data
Kuwana	This study	1.0–1.2	100,000	terrace and boring data
Kuwana	Naruhashi <i>et al.</i> (2004)	> 1.1–1.2	10,000	boring data
Kuwana	Ishiyama <i>et al.</i> (2004)	1.0 ± 0.2	100,000	seismic profile and boring data
Yokkaichi	This study	0.5	100,000	terrace and boring data
Yokkaichi	Ogami and Sugai (2006)	1.2–1.8	10,000	boring data
Yokkaichi	Ogami and Sugai (2006)	0.3–0.7	100,000	terrace
Yokkaichi	Ota and Sangawa (1984)	> 0.3–0.4	100,000	terrace
Yokkaichi	Yoshida (1984)	0.3–0.4	100,000	terrace
Yokkaichi	Yoshida (1984)	0.3–0.4	1,000,000	tephra interbedded within Tokai Group

変形を見積もる範囲)の設定と時間経過や表層堆積物による断層変位地形の発達を考慮に入れていく必要がある。

4) 本研究で明らかとなった地殻変動と地形・地質との関係

地形・地質と隆起・沈降の関係をみてみると、桑名断層周辺では背斜前翼部と後翼部の変形パターンがよく読み取れ、桑名断層と鈴鹿東縁断層帯の間には凹地状の変形が確認できる(図7)。これは吉田(1990)が東海層群の構造などから推定した北勢盆状構造と一致し、現在もこの盆状構造を形成する運動が継続中であると考えられる。また、濃尾平野の現在の形、濃尾平野地下の基盤形状(Ishiyama *et al.*, 2007; 堀川ほか, 2009)、木曽三川(木曽川・長良川・揖斐川)の流路と本研究で明らかになった沈降速度分布は調和的である。これは濃尾平野西部から伊勢湾西岸地域において養老断層を中心とした活断層の活動開始(約1 Ma: Ishiyama *et al.*, 2004, 2007)以来、同様の変形が継続し、濃尾平野の地形発達に大きく影響してきたことを示唆している。

養老-桑名-四日市断層帯に沿う下盤側の沈降速度を比較してみると、養老断層前面の値が最も大

きく、桑名断層から四日市断層へと小さくなり、上盤側の隆起速度でも同様の傾向が推定される(図7)。とくに養老断層と桑名断層の間では隆起・沈降量の差が大きく、変形パターンも両断層で大きく異なる。この違いは断層の変形量の違いに加え断層の地下形状の違いも影響している可能性がある。このような養老断層と桑名断層の変形量の差を考慮すると、養老山地の西側山麓部に位置する西北西-東南東走向で南側低下の市之原断層(図2)は両断層間の変形量を補う lateral ramp あるいは tear fault と考えられる。また桑名断層の南端では、四日市港断層・鈴鹿沖断層の活動による影響が沈降速度の分布に現れており(図7)、今後は桑名断層と海域の断層との連動についても考慮する必要があると考えられる。

VIII. まとめ

本研究では、テフラ分析に基づき段丘面の形成年代の推定と段丘面の対比を行い、伊勢湾西岸地域の段丘形成過程を推定した。さらに段丘地形と地下地質情報に基づき第四紀後期の地殻変動量を明らかにした。

テフラ分析では、被覆層中から K-Ah 層準と AT 層準を認定し、 β 石英に基づき K-Tz テフラが段丘面を覆っているか否かを判断した。それにより Mu1 面と Md2 面の形成間に K-Tz テフラが降灰し、L1 面の離水前後に AT テフラが降灰し、L2 面形成後に K-Ah テフラが降灰したことが推定された。これらのテフラ分析結果、地形的特徴、既存研究による段丘構成層中の ^{14}C 年代測定結果と海成粘土層の分析結果に基づき、本地域の段丘の形成年代および形成過程を推定した。以上の結果、本地域の段丘の多くは気候変動・海水準変動に対応していることが推定され、低地部には(亜)間氷期に、山麓部には氷期に形成された段丘が分布すると考えられる。

本研究で明らかとなった隆起・沈降速度分布は、濃尾平野西部から伊勢湾西岸地域までの地形・地質と調和的であり、断層活動が周辺の地形・地質の発達に大きく影響を与えてきたことを示している。各断層を挟んだ隆起・沈降速度から上下変位速度は、養老断層：1.7 mm/yr 以上、桑名断層：1.0–1.2 mm/yr、四日市断層：約 0.5 mm/yr と推定される。

謝 辞

本稿は、著者の博士学位論文の一部に加筆・修正を加えたものである。本研究を進めるにあたって、堤浩之准教授、竹村恵二教授(京都大学)、岡田篤正教授(立命館大学)には、本論文作成に至る研究全般にわたって終始懇切丁寧なご指導をいただいた。石川尚人教授(京都大学)には、初磁化率測定に必要な機器を使用させていただいた。また、堤浩之准教授、Jeffrey S. Perez 氏、木幡邦彦氏、斎藤真氏(京都大学)には、パーカッション採土器を用いた掘削調査を手伝っていただいた。掘削調査地の土地所有者の方々には、快く掘削を許可していただいた。本稿は、査読者の小松原琢博士と 1 名の匿名査読者のご指摘・ご意見により改善された。現地調査費用の一部には文部科学省科学研究費補助金挑戦的萌芽研究「日本の山地地形研究への熱年代学の適用」(研究代表者：堤浩之)を使用した。一部の図の作成には Generic Mapping Tools (Wessel and Smith, 1991) を使用した。末筆ながら、この場を借りて深く御礼申し上げます。

文 献

- 赤嶺秀雄 (1962): 伊勢湾北部臨海地帯の地質構造 II. 建設省・愛知県・三重県編: 伊勢湾北部臨海地帯の地盤 都市地盤調査報告書 1. 大蔵省印刷局, 20–32. [Akamine, H. (1962): Geological structure in the northern coastal region of the Ise Bay II. in *Results of Investigation of the Grounds in the Northern Coastal Region of the Bay of Ise* edited by Ministry of Construction, Aichi Prefecture, Mie Prefecture, Printing Bureau of Ministry of Finance, 20–32. (in Japanese)*]
- 栗田泰夫 (1997): 桑名断層の第四紀後期の活動性調査. 地質調査所研究資料集, **303**, 95–104. [Awata, Y. (1997): Late Quaternary activity of the Kuwana fault. *Geological Survey of Japan Open-File Report*, **303**, 95–104. (in Japanese)]
- Chappell, J. (1994): Upper Quaternary sea levels, coral terraces, oxygen isotopes and deep-sea temperatures. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **103**, 828–840.
- 古川博恭 (1972): 濃尾平野の沖積層. 地質学論集, **7**, 39–59. [Furukawa, H. (1972): Alluvial deposits of the Nohbi Plain, central Japan. *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **7**, 39–59. (in Japanese with English abstract)]
- 原山 智・宮村 学・吉田史郎・三村弘二・栗本史雄 (1989): 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)「御在所山地帯の地質」. 地質調査所. [Harayama, S., Miyamura, M., Yoshida, F., Mimura, K. and Kurimoto, C. (1989): *Geology of the Gozaishoyama District, with Geological Sheet Map at 1:50,000*. Geological Survey of Japan. (in Japanese)]
- 平川一臣・小野有五 (1974): 十勝平野の地形発達史. 地理学評論, **47**, 607–632. [Hirakawa, K. and Ono, Y. (1974): The landform evolution of the Tokachi Plain. *Geographical Review of Japan*, **47**, 607–632. (in Japanese with English abstract)]
- 堀川晴央・吉見雅行・関口晴子・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 (2009): 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. [Horikawa, H., Yoshimi, M., Sekiguchi, H., Yoshida, K., Sugiyama, Y., Satake, K., Fukuwa, N., Suzuki, H., Matsuyama, H., Ying, L. and Takizawa, F. (2009): A three-dimensional subsurface structure model of the Chukyo area, central Japan. *Annual Report on Active Fault and Paleoeearthquake Researches*, **8**, 203–254. (in Japanese with English abstract)]
- Huzita, K. (1962): Tectonic development of the median zone (Setouti) of Southwest Japan, since the Miocene—with special reference to the characteristic structure of central Kinki area. *Journal of Geoscience, Osaka City University*, **6**, 103–144.
- Ikeda, Y. (1983): Thrust-front migration and its mechanism—evolution of intraplate thrust fault

- system—, *Bulletin of the Department of Geography, University of Tokyo*, **15**, 125–159.
- 池田安隆・今泉俊文・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志 (2002): 第四紀逆断層アトラス. 東京大学出版会. [Ikeda, Y., Imaizumi, T., Hirakawa, K., Miyauchi, T. and Sato, H. (2002): *Atlas of Quaternary Thrust Faults in Japan*. University of Tokyo Press. (in Japanese)]
- 井関弘太郎 (1956): 日本周辺の陸棚と沖積統基底面の関係について. 名古屋大学文学部研究論集, **14**, 85–102. [Iseki, H. (1956): Sea shelf around Japan and basement surface of alluvium. *Journal of the Faculty of Letters, Nagoya University*, **14**, 85–102. (in Japanese)*]
- 石村大輔 (2010): 関ヶ原周辺における段丘編年と活断層の活動性. 第四紀研究, **49**, 255–270. [Ishimura, D. (2010): Chronology of fluvial terraces and fault activities in and around the Sekigahara region, central Japan. *The Quaternary Research*, **49**, 255–270. (in Japanese with English abstract)]
- Ishimura, D. and Kakiuchi, Y. (2011): Chronology and processes of fluvial terrace formation in north-eastern Kinki district, southwest Japan, based on cryptotephra analysis. *Quaternary International*, **246**, 190–202.
- 石山達也・竹村恵二・岡田篤正 (1999): 鈴鹿山脈東麓地域の第四紀における変形速度. 地震 第2輯, **52**, 229–240. [Ishiyama, T., Takemura, K. and Okada, A. (1999): Structural growth rate of the eastern margin of the Suzuka Range during Quaternary. *Journal of the Seismological Society of Japan, Second Series*, **52**, 229–240. (in Japanese with English abstract)]
- Ishiyama, T., Mueller, K., 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**, doi:10.1029/2003JB002547.
- Ishiyama, T., Mueller, K., Sato, H. and Togo, M. (2007): Coseismic fault-related folding, growth structure and the historic multi-segment blind thrust earthquake on the basement-involved Yoro thrust, central Japan. *Journal of Geophysical Research*, **112**, B03S07, doi:10.1029/2006JB004377.
- 磯見 博 (1955): 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)「大垣地域の地質」. 地質調査所. [Isomi, H. (1955): *Geology of the Ogaki District, with Geological Sheet Map at 1:50,000*. Geological Survey of Japan. (in Japanese)]
- 磯見 博 (1957): 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)「近江長浜地域の地質」. 地質調査所. [Isomi, H. (1957): *Geology of the Omi-Nagahama District, with Geological Sheet Map at 1:50,000*. Geological Survey of Japan. (in Japanese)]
- 伊藤真人・正木智幸 (1984): 北アルプス, 乳川流域における更新世の岩屑供給期. 地理学評論, **57A**, 282–292. [Ito, M. and Masaki, T. (1984): Ages of debris supply during late Pleistocene in the Chigawa valley, the eastern area of the northern Japanese Alps, central Japan. *Geographical Review of Japan*, **57A**, 282–292. (in Japanese with English abstract)]
- 岩淵 洋・西川 公・野田直樹・川尻智敏・中川正則・青砥澄夫・加藤 勲・安間 恵・長田 智・角谷昌洋 (2000): 伊勢湾における活断層調査. 水路部研究報告, **36**, 73–96. [Iwabuchi, Y., Nishikawa, H., Noda, N., Kawashiri, C., Nakagawa, M., Aoto, S., Kato, I., Amma, K., Nagata, S. and Kadoya, M. (2000): Active faults surveys in the Ise Bay. *Report of Hydrographic Researches*, **36**, 73–96. (in Japanese with English abstract)]
- 貝塚爽平 (1950): 桑名市西部の断層地形. 地理学評論, **22**, 352–356. [Kaizuka, S. (1950): Fault topography in the western part of Kuwana City. *Geographical Review of Japan*, **22**, 352–356. (in Japanese)*]
- 貝塚爽平 (1969): 変化する地形—地殻変動と海面変化と気候変動のなかで. 科学, **39**, 11–19. [Kaizuka, S. (1969): Landform changes: under crustal movements, sea-level changes and climate changes. *Science (Kagaku)*, **39**, 11–19. (in Japanese)*]
- 貝塚爽平・鎮西清高 (1986): 日本の自然<2>日本の山. 岩波書店. [Kaizuka, S. and Chinzei, K. (1986): *Nature in Japan*, Vol. 2. Iwanami Shoten. (in Japanese)]
- 垣内佑哉・堤 浩之・竹村恵二・鈴木毅彦・村田昌則 (2010): 琵琶湖西岸断層帯北部上寺断層の活動による河成段丘の隆起. 第四紀研究, **49**, 219–231. [Kakiuchi, Y., Tsutsumi, H., Takemura, K., Suzuki, T. and Murata, M. (2010): Uplift of fluvial terraces by the activity of the Kamidera fault in the northern part of the Biwako-seigan fault zone. *The Quaternary Research*, **49**, 219–231. (in Japanese with English abstract)]
- 片岡香子・吉川周作 (1997): 三重県鈴鹿川流域の段丘構成層の層序・編年—火山灰稀産地域での段丘編年の試み. 第四紀研究, **36**, 263–276. [Kataoka, K. and Yoshikawa, S. (1997): Fluvial terrace deposits along the Suzuka River, Mie Prefecture, central Japan: Chronology of terraces rarely intercalated with volcanic ash. *The Quaternary Research*, **36**, 263–276. (in Japanese with English abstract)]
- 建設省・愛知県・三重県編 (1962): 伊勢湾北部臨海地帯の地盤 都市地盤調査報告書 1. 大蔵省印刷局. [Ministry of Construction, Aichi Prefecture and Mie Prefecture eds. (1962): *Results of Investigation of the Grounds in the Northern Coastal Region of the Bay of Ise*. Printing Bureau of Ministry of Finance.]
- Kimura, I. (1971): Pleistocene sediments and geomorphic development in the west coast area of Ise Bay, Japan, Part 1. *Bulletin of Aichi University of Education*, **20**, 165–181.
- Kimura, I. (1972): Pleistocene sediments and geomorphic development in the west coast area of Ise

- Bay, Japan, Part 2. *Bulletin of Aichi University of Education*, **21**, 125-155.
- Kimura, I. (1973): Pleistocene sediments and geomorphic development in the west coast area of Ise Bay, Japan, Part 3. *Bulletin of Aichi University of Education*, **22**, 109-131.
- 久保純子 (1997): 相模川下流平野の埋没段丘からみた酸素同位体ステージ 5a 以降の海水準変化と地形発達. 第四紀研究, **36**, 147-163. [Kubo, S. (1997): Reconstruction of paleo sea-level and landform changes since the Marine Isotope Stage 5a, using buried terraces in the lower Sagami Plain, central Japan. *The Quaternary Research*, **36**, 147-163. (in Japanese with English abstract)]
- 桑原 徹 (1985): 濃尾平野の地下水盆. 東海三県地盤調査会編: 濃尾平野の地盤沈下と地下水. 名古屋大学出版会, 35-76. [Kuwahara, T. (1985): Groundwater basin in the Nobi Plain. in *The Subsidence and Groundwater Flow in the Nobi Plain* edited by Subsidence Survey Committee in Tokai Region, University of Nagoya Press, 35-76. (in Japanese)*]
- Machida, H. (1980): Tephra and its implications with regard to the Japanese Quaternary Period. in *Geography of Japan* edited by The Association Japanese Geographers, Teikoku Shoin, 29-53.
- 町田 洋・新井房夫 (2003): 新編火山灰アトラス. 東京大学出版会. [Machida, H., Arai, F. (2003): *Atlas of Tephra in and around Japan [revised edition]*. University of Tokyo Press. (in Japanese)]
- 牧野内 猛・森 忍・檀原 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) および熱田層下部海成粘土層の年代—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. [Makinouchi, T., Mori, S., Danhara, T., Takemura, K. and Geologic profile WG of Research Committee for the Ground of Nohbi Plain (2001): Ages of the basal gravel of alluvium (BG) and the lower marine clay member of late Pleistocene Atsuta Formation under the Nohbi Plain, central Japan: Fruitful results based on tephra analyses of core samples recovered from the coastal area. *Journal of the Geological Society of Japan*, **107**, 283-295. (in Japanese with English abstract)]
- 松沢 勲・嘉藤良次郎 (1954): 名古屋附近の地質, 同地質図. 愛知県建築部. [Matsuzawa, I. and Kato, R. (1954): *Geology in and around Nagoya, with Geological Sheet Map (Nagoya Fukin No Chishitsu, Do Chishitsuzu)*. Aichi Department of Construction. (in Japanese)*]
- McCalpin, J.P. ed. (2009): *Paleoseismology, Second edition*. Academic Press.
- 三重県 (1996): 鈴鹿東縁断層帯に関する調査 成果報告書. 三重県. [Mie Prefecture (1996): *Report of Investigation Results of the Suzuka-toen Fault Zone (Suzuka Toen Dansotai Ni Kansuru Chosa, Seika Hokokusho)*. Mie Prefecture. (in Japanese)*]
- 三重県 (2002): 鈴鹿東縁断層帯に関する調査 成果報告書 (概要版). 三重県. [Mie Prefecture (2002): *Report of Investigation Results of the Suzuka-toen Fault Zone (Brief Summary) (Suzuka Toen Dansotai Ni Kansuru Chosa, Seika Hokokusho (Gaiyoban))*. Mie Prefecture. (in Japanese)*]
- 三重県 (2003): 伊勢平野に関する地下構造調査 成果報告書 (概要版). 三重県. [Mie Prefecture (2003): *Report of Investigation Results of Subsurface Structures in the Ise Plain (Brief Summary) (Ise Heiya Ni Kansuru Chika Kouzo Chosa, Seika Hokokusho (Gaiyoban))*. Mie Prefecture. (in Japanese)*]
- 三重県 (2004): 伊勢平野に関する地下構造調査 成果報告書. 三重県. [Mie Prefecture (2004): *Report of Investigation Results of Subsurface Structures in the Ise Plain (Ise Heiya Ni Kansuru Chika Kouzou Chosa, Seika Hokokusho)*. Mie Prefecture. (in Japanese)*]
- 宮村 学・三村弘二・横山卓雄 (1976): 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅) 「彦根東部地域の地質」. 地質調査所. [Miyamura, M., Mimura, K. and Yokoyama, T. (1976): *Geology of the Hikone-Tobu District, with Geological Sheet Map at 1:50,000*. Geological Survey of Japan. (in Japanese)]
- 宮村 学・吉田史郎・山田直利・佐藤岱生・寒川 旭 (1981): 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅) 「亀山地域の地質」. 地質調査所. [Miyamura, M., Yoshida, F., Yamada, N., Sato, T. and Sangawa, A. (1981): *Geology of the Kameyama District, with Geological Sheet Map at 1:50,000*. Geological Survey of Japan. (in Japanese)]
- 水野清秀・小松原 琢・脇田浩二・竹内圭史・西岡芳晴・渡辺 寧・駒澤正夫 (2009): 20 万分の 1 地質図幅「名古屋」(第 3 版). 産業技術総合研究所地質調査総合センター. [Mizuno, K., Komatsubara, T., Wakita, K., Takeuchi, K., Nishioka, Y., Watanabe, Y. and Komazawa, M. (2009): *Geological Map of Japan 1:200,000, Nagoya, 3rd Edition*. Geological Survey of Japan. (in Japanese)]
- 中田 高・今泉俊文編 (2002): 活断層詳細デジタルマップ. 東京大学出版会. [Nakata, T. and Imaizumi, T. eds. (2002): *Digital Active Fault Map of Japan*. University of Tokyo Press. (in Japanese)]
- 鳴橋龍太郎・須貝俊彦・藤原 治・栗田泰夫 (2004): 完新世浅海堆積物の堆積速度の変化から見た桑名断層の活動間隔. 第四紀研究, **43**, 317-330. [Naruhashi, R., Sugai, T., Fujiwara, O. and Awata, Y. (2004): Recurrence interval of the Kuwana fault reconstructed from Holocene synfaulting shallow marine sediments on the western margin of the Nobi Plain, central Japan. *The Quaternary Research*, **43**, 317-330. (in Japanese with English abstract)]
- Naruhashi, R., Sugai, T., Fujiwara, O. and Awata, Y. (2008): Detecting vertical faulting event horizons from Holocene synfaulting in shallow marine sediments on the western margin of the Nobi Plain,

- central Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **98**, 1447-1457.
- 丹羽雄一・須貝俊彦・大上隆史・田力正好・安江健一・藤原 治 (2009): 濃尾平野西部の上部完新統に残された養老断層系の活動による沈降イベント. 第四紀研究, **48**, 339-349. [Niwa, Y., Sugai, T., Ogami, T., Tajikara, M., Yasue, K. and Fujiwara, O. (2009): Evidence for late Holocene coseismic subsidence identified in drilling cores along the Yoro fault system, western margin of the Nobi plain, central Japan. *The Quaternary Research*, **48**, 339-349. (in Japanese with English abstract)]
- 大上隆史・須貝俊彦 (2006): 後期更新世以降における四日市断層の活動性評価. 第四紀研究, **45**, 131-139. [Ogami, T. and Sugai, T. (2006): Evaluation of the activity of the Yokkaichi fault since the late Pleistocene. *The Quaternary Research*, **45**, 131-139. (in Japanese with English abstract)]
- 大上隆史・須貝俊彦・藤原 治・山口正秋・笹尾英嗣 (2009): ボーリングコア解析と¹⁴C年代測定にもとづく木曽川デルタの形成プロセス. 地学雑誌, **118**, 665-685. [Ogami, T., Sugai, T., Fujiwara, O., Yamaguchi, M. and Sasao, E. (2009): Development of the Kiso River Delta during the last 10,000 years based on analyses of sedimentary cores and ¹⁴C datings. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **118**, 665-685. (in Japanese with English abstract)]
- 岡田篤正・東郷正美編 (2000): 近畿の活断層. 東京大学出版会. [Okada, A. and Togo, M. (2000): *Active Faults in the Kinki Area, Central Japan: Sheet Maps and Inventories*. University of Tokyo Press. (in Japanese)]
- 岡田篤正・豊蔵 勇・牧野内 猛・藤原八苗・伊藤孝 (2000): 知多半島西岸沖の伊勢湾断層. 地質学雑誌, **109**, 10-26. [Okada, A., Toyokura, I., Maki-nouchi, T., Fujiwara, Y. and Ito, T. (2000): The Ise Bay fault off the Chita Peninsula, central Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **109**, 10-26. (in Japanese with English abstract)]
- 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, **57A**, 237-262. [Ota, Y. and Sangawa, A. (1984): Active faults in the eastern foot area of the Suzuka Range, central Japan. *Geographical Review of Japan*, **57A**, 237-262. (in Japanese with English abstract)]
- Sato, H., Ito, K., Abe, S., Kato, N., Iwasaki, T., Hirata, N., Ikawa, T. and Kawanaka, T. (2009): Deep seismic reflection profiling across active reverse faults in the Kinki Triangle, central Japan. *Tectonophysics*, **472**, 86-94.
- Sugai, T. (1993): River terrace development by concurrent fluvial processes and climate changes. *Geomorphology*, **6**, 243-252.
- 須貝俊彦・杉山雄一・松本則夫・佃 栄吉 (1998): 深層オールコアボーリングの解析による養老断層の活動性評価. 地質調査所速報, no. EQ/98/1, 75-90. [Sugai, T., Sugiyama, Y., Matsumoto, N. and Tsukuda, E. (1998): Late Quaternary activity of the Yoro fault based on the analysis of a 451 m core obtained by drilling at the foot of the Yoro Mountains. *Geological Survey of Japan Interim Report*, no. EQ/98/1, 75-90. (in Japanese with English abstract)]
- 須貝俊彦・杉山雄一・水野清秀 (1999a): 深度600mボーリング(GS-NB-1)の分析に基づく過去90万年間の濃尾平野の地下層序. 地質調査所速報, no. EQ/99/3, 69-76. [Sugai, T., Sugiyama, Y. and Mizuno, K. (1999a): 900,000-years cyclostratigraphic record from a 600 m core, GS-NB-1, the Nobi Basin, central Japan. *Geological Survey of Japan Interim Report*, no. EQ/99/3, 69-76. (in Japanese with English abstract)]
- 須貝俊彦・伏島祐一郎・栗田泰夫・吾妻 崇・刈谷愛彦・鈴木康弘 (1999b): 養老断層の完新世後期の活動履歴—1586年天正地震・745年天平地震震源断層の可能性. 地質調査所速報, no. EQ/99/3, 89-102. [Sugai, T., Fusejima, Y., Awata, Y., Azuma, T., Kariya, Y. and Suzuki, Y. (1999b): Late Holocene paleoseismicity of the Yoro fault system, central Japan—Geologic evidence of the last two historical large (M7.8 to 8) earthquake of Tensyo Jishin in 1586 and Tenpyo Jishin in 745. *Geological Survey of Japan Interim Report*, no. EQ/99/3, 89-102. (in Japanese with English abstract)]
- 杉崎隆一・柴田 賢 (1961): 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分布—. 地質学雑誌, **67**, 427-439. [Sugisaki, R. and Shibata, K. (1961): Geochemical study on ground water (I): Subsurface geology and aquifers in the Nobi Plain. *Journal of the Geological Society of Japan*, **67**, 427-439. (in Japanese with English abstract)]
- 鈴木康弘・千田 昇・渡辺満久 (1996a): 1:25,000都市圏活断層図「津島」. 国土地理院技術資料D・1-No. 333. [Suzuki, Y., Chida, N. and Watanabe, M. (1996a): *1:25,000 Active Fault Map in Urban Area, Tsushima*. Technical Report of the Geographical Survey Institute of Japan, D1-No.333. (in Japanese)]
- 鈴木康弘・千田 昇・渡辺満久・岡田篤正 (1996b): 1:25,000都市圏活断層図「桑名」. 国土地理院技術資料D・1-No. 333. [Suzuki, Y., Chida, N., Watanabe, M. and Okada, A. (1996b): *1:25,000 Active Fault Map in Urban Area, Kuwana*. Technical Report of the Geographical Survey Institute of Japan, D1-No.333. (in Japanese)]
- 鈴木康弘・千田 昇・渡辺満久 (1996c): 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. 333. [Suzuki, Y., Chida, N. and Watanabe, M. (1996c): *1:25,000 Active Fault Map in Urban Area, Yokkaichi*. Technical Report of the Geographical Survey Institute of Japan, D1-No.333. (in Japanese)]
- 田力正好 (2005): 河成段丘を用いて推定される内陸部の広域的地殻変動—現状と課題. 地理科学, **60**,

- 143-148. [Tajikara, M. (2005): Estimation of crustal movement over a wide inland area using river terrace: current status and future perspectives. *Geographical Sciences (Chiri Kagaku)*, **60**, 143-148. (in Japanese)]
- 田力正好・池田安隆 (2005): 段丘面の高度分布からみた東北日本弧中部の地殻変動と山地・盆地の形成. 第四紀研究, **44**, 229-245. [Tajikara, M. and Ikeda, Y. (2005): Vertical crustal movements and development of basin and range topography in the middle part of the northeast Japan Arc estimated from fluvial/marine terrace data. *The Quaternary Research*, **44**, 229-245. (in Japanese with English abstract)]
- 田力正好・安江健一・柳田 誠・古澤 明・田中義文・守田益宗・須貝俊彦 (2011): 土岐川 (庄内川) 流域の河成段丘と更新世中期以降の地形発達. 地理学評論, **84**, 118-130. [Tajikara, M., Yasue, K., Yanagida, M., Furusawa, A., Tanaka, N., Morita, Y. and Sugai, T. (2011): Fluvial terrace and geomorphology in the Tokigawa (Shonagawa) River basin since the middle Pleistocene. *Geographical Review of Japan*, **84**, 118-130. (in Japanese with English abstract)]
- 高田康秀・近藤善教・宮村 学 (1979): 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)「津島地域の地質」. 地質調査所. [Takada, Y., Kondo, Y. and Miyamura, M. (1979): *Geology of the Tsushima District, with Geological Sheet Map at 1:50,000*. Geological Survey of Japan. (in Japanese)]
- 高木俊男・柳田 誠・藤原 治・小沢昭男 (2000): 海岸段丘から推定した河床高度変化の歴史. 地学雑誌, **109**, 366-382. [Takagi, T., Yanagida, M., Fujiwara, O. and Ozawa, A. (2000): River deepening and aggradation estimated from relative heights of river terraces. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **109**, 366-382. (in Japanese with English abstract)]
- 戸田 茂・川崎慎治・三田村宗樹・中川康一・香川敏幸・横田 裕・小林芳正・岡田篤正 (1997): 養老断層の地下構造と活動履歴—三重県多度町における地震探査—. 地震 第 2 輯, **49**, 429-440. [Toda, S., Kawasaki, S., Mitamura, M., Nakagawa, K., Kagawa, T., Yokota, Y., Kobayashi, Y. and Okada, A. (1997): Subsurface structure and activities of the Yoro fault—Seismic reflection survey in Tado Town, Mie Prefecture, central Japan—. *Journal of the Seismological Society of Japan, Second Series*, **49**, 429-440. (in Japanese with English abstract)]
- 東郷正美 (2000): 微小地形による活断層判読. 古今書院. [Togo, M. (2000): *Identification of Active Faults Based on Subtle Topography (Bisho Chihei Niyoru Katsudanso Handoku)*. Kokon Shoin. (in Japanese)*]
- Wessel, P. and Smith, W.H.F. (1991): Free software helps map and display data. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, **72**, 441, 445-446.
- 吉田史郎 (1984): 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)「四日市地域の地質」. 地質調査所. [Yoshida, F. (1984): *Geology of the Yokkaichi District, with Geological Sheet Map at 1:50,000*. Geological Survey of Japan. (in Japanese)]
- 吉田史郎 (1990): 東海層群の層序と東海湖盆の古地理変遷. 地質調査所月報, **41**, 303-340. [Yoshida, F. (1990): Stratigraphy of the Tokai Group and paleogeography of the Tokai sedimentary basin in the Tokai region, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **41**, 303-340. (in Japanese with English abstract)]
- 吉田史郎・栗本史雄・宮村 学 (1991): 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)「桑名地域の地質」. 地質調査所. [Yoshida, F., Kurimoto, C. and Miyamura, M. (1991): *Geology of the Kuwana District, with Geological Sheet Map at 1:50,000*. Geological Survey of Japan. (in Japanese)]
- 吉山 昭・柳田 誠 (1995): 河成地形面の比高分布からみた地殻変動. 地学雑誌, **104**, 809-826. [Yoshiyama, A. and Yanagida, M. (1995): Uplift rates estimated from relative heights of fluvial terrace surfaces and valley bottoms. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **104**, 809-826. (in Japanese with English abstract)]

* Title etc. translated by D.I.