



有馬 - 高槻断層帯の先史・歴史地震に伴う 横ずれ地表変位

堤 浩之^{*1} 後藤秀昭^{*2} 谷 美由起^{*1}

Right-lateral offsets on the Arima-Takatsuki fault zone in southwest Japan
associated with prehistoric and historic earthquakes

Hiroyuki Tsutsumi^{*1}, Hideaki Goto^{*2}, and Miyuki Tani^{*1}

Abstract

The Arima-Takatsuki fault zone consists of a series of ENE-trending right-lateral strike-slip faults along the northern margin of the Osaka plain. This fault zone is considered to have ruptured during the 1596 Keicho-Fushimi earthquake based on paleoseismic trench excavations across the fault zone conducted by the Geological Survey of Japan and numerous liquefaction features on archaeological sites in Kobe-Osaka-Kyoto areas. The surface offset during the earthquake was estimated to have been about 3 m based on offsets of rice-paddy dikes at two localities. In order to search for more data on the surficial slip during the 1596 earthquake as well as evidence for prehistoric earthquakes, we have interpreted large-scale aerial photographs and conducted geomorphic field investigations. We have identified several localities along the fault zone where geomorphic and/or artificial features are systematically offset about 3 m, confirming previous estimates of the surficial slip during the 1596 earthquake. Larger displacements of older geomorphic features also suggest repeated right-lateral slip on the fault zone in late Holocene time.

はじめに

大地震時における活断層(群)の挙動(セグメンテーション・グルーピング等)を明らかにするためには、近年発生した大地震や今後発生する大地震に伴う地表地震断層の精査が最も重要である。しかしながら、日本内陸で明瞭な地表地震断層を伴う大地震が発生する頻度は10年に1回程度であり(活断層研究会編, 1991), サンプル数を増やすためには、海外で発生した大地震の調査とともに、変動地形的な手法を用いて過去の大地震像を詳細に復元する作業が不可欠である(東郷, 2000)。そのような観点から、微小な断層変位地形をマッピングし、それらを形成した先史~歴史時代の断層運動の様式・時期・変位量などを解明する研究が近年各地で精力的に進められている(東郷, 2000;

2002, 杉戸ほか, 2002)。筆者らも同様な視点から、歴史地震に伴う横ずれ活断層の変位量分布を、地形や土地の区画の変位に基づいて復元する作業を進めている。特に1596年9月1日の慶長伊予地震(中西, 2002)や9月5日の慶長伏見地震(宇佐美, 1996)に伴って活動した可能性の高い四国の中央構造線活断層帯の最新活動時の変位量分布調査を進めており、その概略が明らかになりつつある(後藤ほか, 2003; 堤・後藤, 2003)。またトレンチ掘削調査や遺跡の地震跡などのデータから、寒川ほか(1996)によって慶長伏見地震の起震断層のひとつであると考えられている有馬-高槻断層帯についても、大縮尺空中写真判読と地形調査を進めてきた。その結果、この断層帯に沿う複数の地域で、段丘崖や天井川などの地形や土地の区画が系統的に右横ずれ変位していることを見だし、それらの中には1596年地震の変位量を記録している可能性が高いものが含まれ

*1 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室

*2 福島大学教育学部地理学教室

*1 Department of Geophysics, Kyoto University

*2 Department of Geography, Fukushima University

ていることが判明したのでここに報告する。

調査地域の概観と調査方法

有馬 - 高槻断層帯は北摂山地と大阪平野・六甲山地の境界付近を長さ約60kmにわたって東北東 - 西南西方向にのびる断層帯であり、並走あるいは分岐する複数の活断層から構成される(第1図, 寒川, 1978; 岡田・東郷編, 2000)。北摂山地は二畳紀 - ジュラ紀の丹波層群の堆積岩類と白亜紀後期の有馬層群の火山岩類から主に構成される。断層の南部には大阪層群からなる千里丘陵や河成段丘が広く分布する(「日本地質図大系」編集委員会編, 1996)。寒川(1978)は空中写真判読と地形・地質調査により活断層の分布の詳細を明らかにし、第四紀後期には右横ずれを主とする断層運動が卓越していることを明らかにした。断層トレースの位置や変位地形に関しては、その後断層帯中部 - 東部をカバーする縮尺1/25000都市圏活断層図が刊行された(中田ほか, 1996; 岡田ほか, 1996)。また1995年の阪神淡路大震災以降、この断層帯の中部 - 東部の複数の地点で地質調査所(現産業技術総合研究所)によってトレンチ掘削調査が行われた。その結果、有馬 - 高槻断層帯の最新活動は室町・安土桃山時代 - 江戸時代であったことが判明し、この活動は1596年の慶長伏見地震に対応すると考えられている(寒川ほか, 1996)。さらにこの地震の際に約3mの右

横ずれ変位があったことが、2地点における水田の畦のずれから推定されている(寒川, 1996)。またMaruyama and Lin(2002)は地形・地質調査に基づき、1 - 3mm/yrの右横ずれ変位速度を得ている。

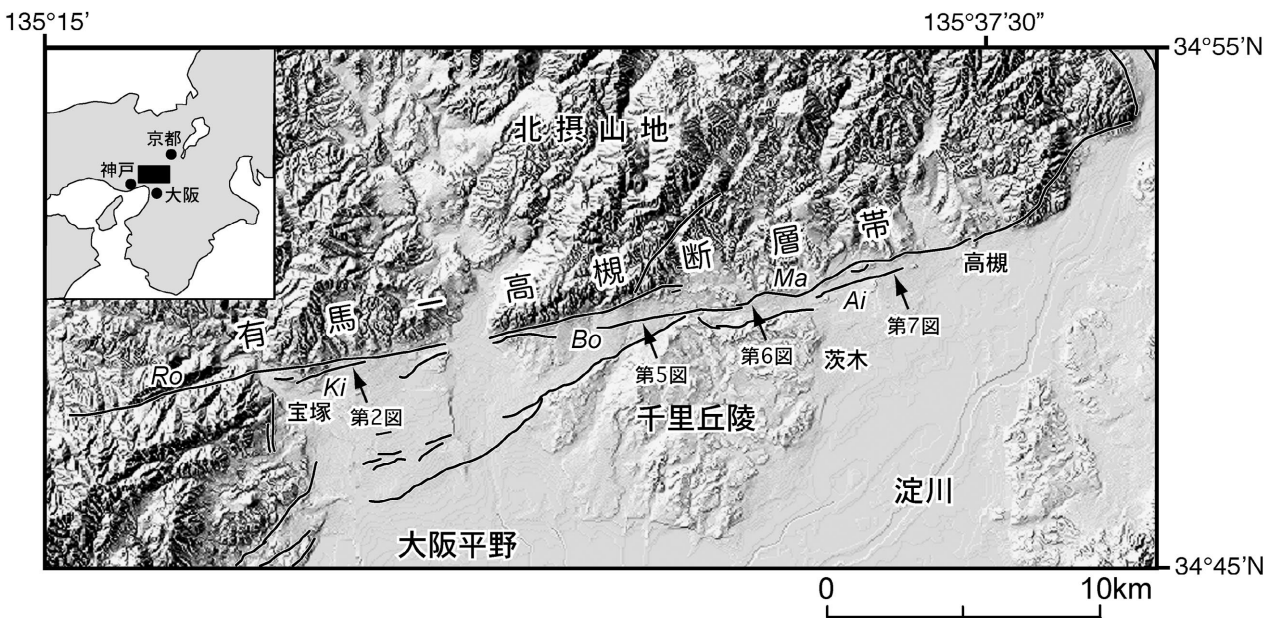
本研究では、主に米軍撮影1/10000空中写真を判読し、地形や土地区画の微小な(数m程度)食い違いの検出に努めた。判読は断層帯が山地と平野・丘陵の境界に位置する宝塚市以東の地域で行った。その後現地でも、地形や土地区画の食い違いが断層変位によるものかどうかを確認する作業を行った。調査地域は戦後急速に宅地化が進み地形の人工改変が著しいため、現存する変位指標は少ない。現存するものについては変位量を測定するとともに、トータルステーションによる図化を行った。変位指標が残存していないものについては、空中写真や大縮尺地形図を基に変位量を見積もった。

地形面の対比は基本的に寒川(1978)および谷(2003)に基づくが、調査地域全域で統一がとれるように若干の修正を行った。

有馬 - 高槻断層帯に沿う横ずれ地表変位

1. 清荒神断層

清荒神断層は北摂山地南縁のやや平野側を、宝塚市街地付近から東北東にのびる長さ約3kmの活断層である(第1



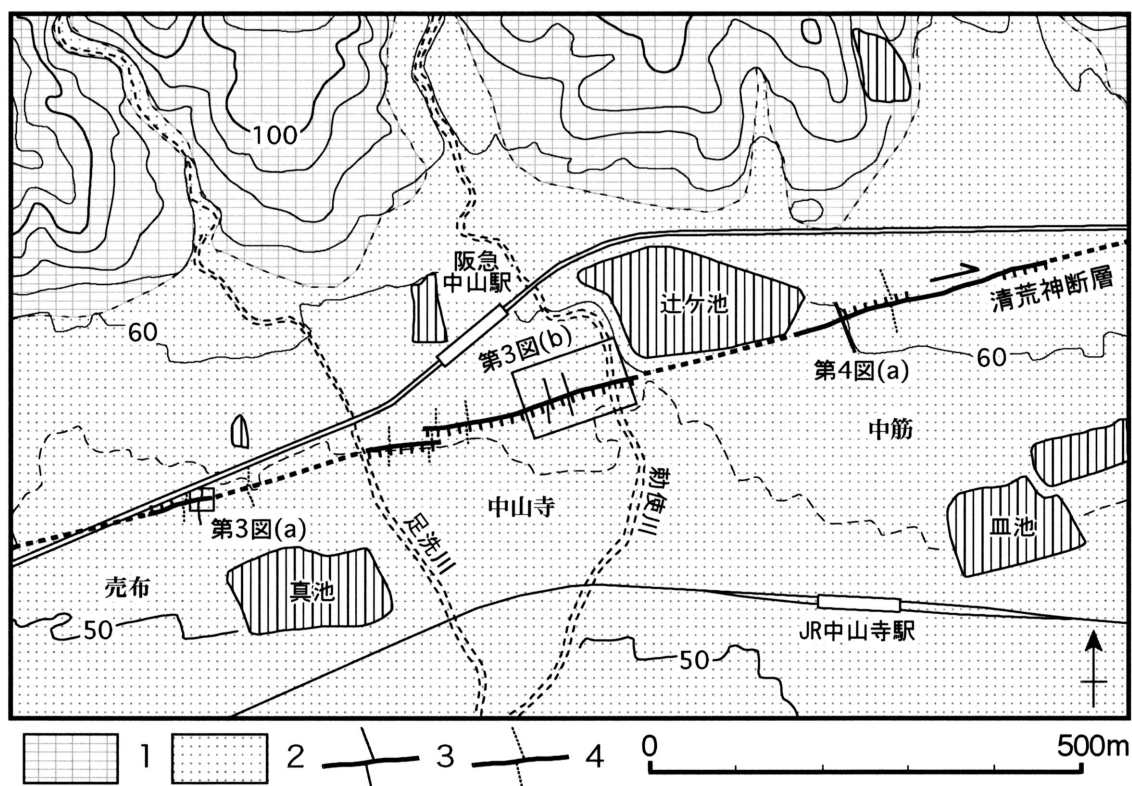
第1図 調査地域の概観図。陰影図は国土地理院発行数値地図50mメッシュ(標高)データを使って作成。活断層(実線)は池田ほか編(2002)を修正・簡略化して示す。矢印は第2図・第5図・第6図・第7図の詳細活断層図の位置を示す。有馬 - 高槻断層帯を構成する主な断層は、Ro: 六甲断層, Ki: 清荒神断層, Bo: 坊島断層, Ma: 真正断層, Ai: 安威断層(断層名は寒川, 1978に基づく)。

図, 寒川, 1978; 岡田・東郷編, 2000). この断層に沿っては, 宝塚市売布から中筋周辺に土地区画や天井川の系統的な右横ずれが存在する(第2図). この地域では, 清荒神断層が低位段丘2面(寒川, 1978)を変位させる比高1m未満の低断層崖が連続するが, それに沿って土地区画が系統的に右ずれに食い違っている. 売布では土地境界が3ヶ所で食い違っているが, 現存するのは1ヶ所のみであり, その量は5.2~6.6mである(第3図a). さらに東方の阪急中山駅周辺では, かつては土地区画の系統的な食い違いが認められたが, 現存するのは2ヶ所のみである(第3図b). ここでは比高約50cmの断層崖を挟んで, 宅地の境界が約3m右横ずれしている. 現存しない土地区画の変位量も, 空中写真で判読する限り同程度である. またその東方約50mに位置する天井川化した勅使川も約3mの右横ずれを示す(第3図b). 辻ヶ池の東方の中筋では, 断層に沿って数10cmの北落ち変位が認められるが(第4図a), ここでも土地区画の右ずれが認められ, その量は空中写真判読に基づく2~3m程度であったと考えられる.

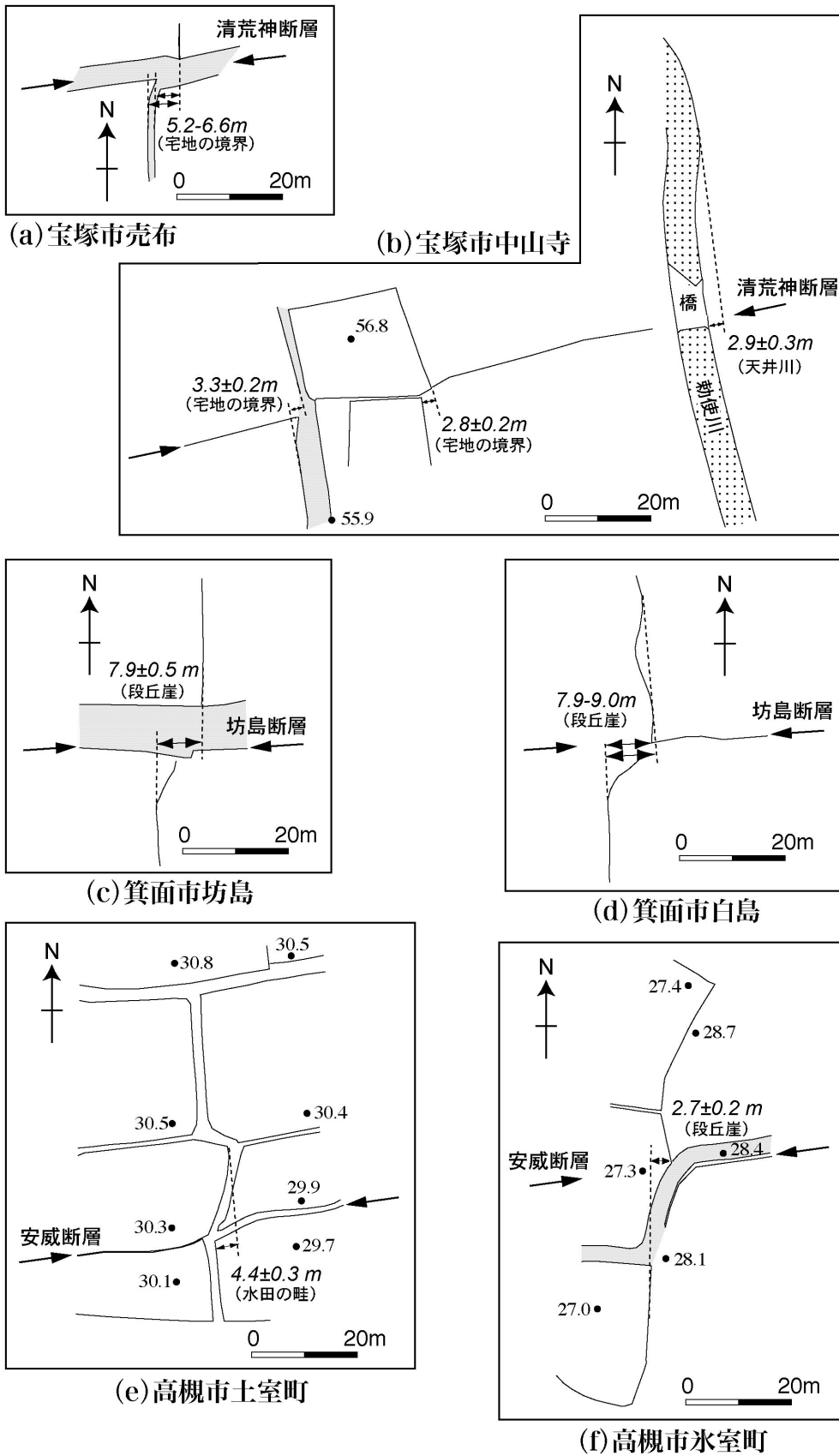
ぼ平行にのびる長さ約9kmの活断層である(第1図, 寒川, 1978; 岡田・東郷編, 2000). 箕面市坊島周辺では, 坊島断層による明瞭な変位地形が寒川(1978)や寒川ほか(1996)等で指摘されてきた. ここでは低位段丘1面や2面を切断する北落ちの明瞭な低断層崖が連続するが, それを横切る畦・段丘崖が系統的な右横ずれを示す(第5図). この地域の横ずれ変位指標を西から記載する. 箕面鍋田川の形成した沖積低地面上で掘削されたトレンチの東方延長では, 低位段丘2面と沖積低地面との境界をなす段丘崖が約8m右横ずれしている(第3図c). またその東約50mの地点では, 現存しない水田の畦が約3m右横ずれしているが, これは寒川(1996)が報告した畦のずれのひとつであると考えられる. この地点から今宮までの区間では, 急勾配の扇状地面である低位段丘2面上に残された南北方向の旧河道や段丘崖が系統的に右横ずれ変位している(第5図). 近年の土地区画整理事業によってこれらの変位指標は現存しないが, 1/2500地形図の判読に基づくとその量は20~30mと見積もることができる. 白島以東では南落ちの低断層崖が連続するが, それに直交する小規模な段丘崖を利用して作られた水田の畦が約8~9m右横ずれしている(第3図d). この地域では, 寒川ほか(1996)によってトレンチ掘削調査が

2. 坊島断層

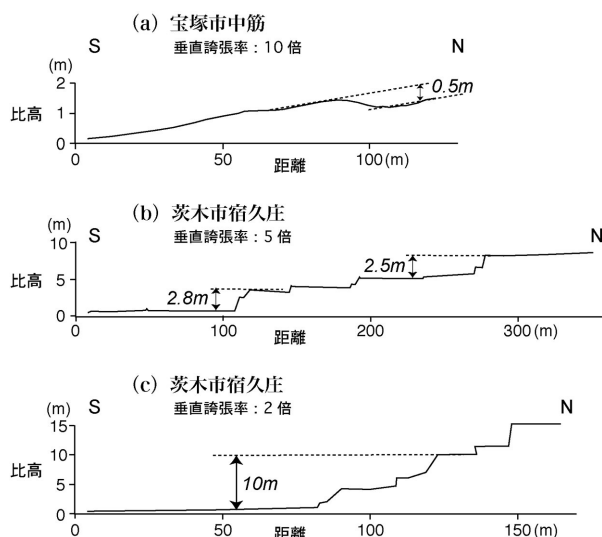
坊島断層は北摂山地の南縁から1km以内を, 山麓線にほ



第2図 宝塚市中山寺周辺における清荒神断層による変位地形と地形分類図. 基図は国土地理院発行1/5000国土基本図(V-OG33, 昭和42年測量)を使用. 等高線間隔は10m. 凡例は1:山地, 2:低位段丘2面, 3:現存する横ずれ変位指標, 4:終戦直後の米軍撮影空中写真では認めることができるものの現存しない横ずれ変位指標. 活断層と上下変位の低下側は実線とケバで示す. 破線は位置が不明確な部分を示す.



第3図 有馬 - 高槻断層帯の最新および過去数回の断層運動に伴う地表変位を記録していると考えられる変位指標の実測図. 図 (b)・(e)・(f) 中の数値は標高を示す. 灰色の着色部は舗装道路を示す. 図の作成地点の位置については, 第2図・第5図・第7図を参照.



第4図 調査地域における地形断面図(谷, 2003を修正).
断面図の位置は第2図および第6図を参照.

2ヶ所で行われ(第5図), 活断層の存在が地質学的にも証明された. また最新活動時期が室町時代後半以降, 江戸時代以前に限定され, 水田の畦のずれ約3mが最新活動によって生じたことなども明らかにされた(寒川ほか, 1996).

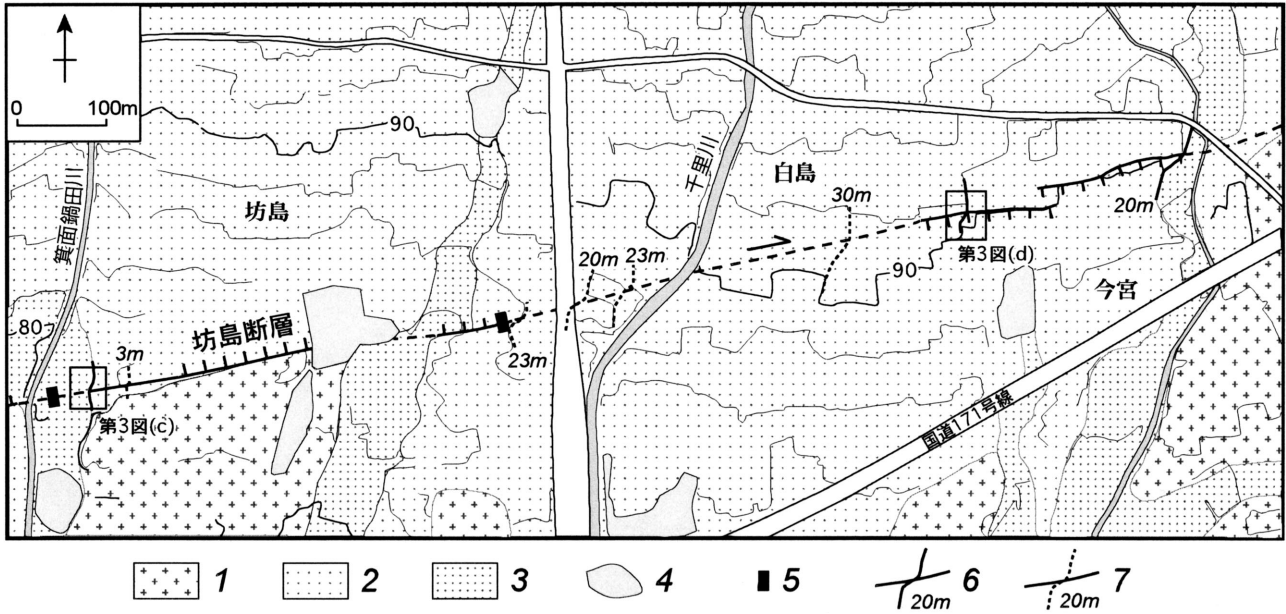
3. 真上断層

真上断層は茨木市宿久庄付近から高槻市街地北方まで, 山麓線に沿ってのびる長さ約8kmの活断層である(第1図, 寒川, 1978; 岡田・東郷編, 2000). この活断層に沿っても, ほぼその全域で明瞭な断層変位地形が観察されるが, 茨木市宿久庄地域では断層に沿った水田の畦の系統的な右ずれが米軍撮影空中写真で認められる(第6図). ここでは坊島断層の東端部と真上断層の西端部が並走し, それぞれの断層によって低位段丘2面が, 2.5~3m程度北側隆起している(第4図b). また勝尾寺川左岸では, 低位段丘2面と沖積低地面との間に比高約10mの低断層崖が発達する(第4図c). 第6図は米軍撮影空中写真を基に終戦直後の土地区画を復元したものである. これによると, 真上断層の断層崖を境に畦が系統的に右横ずれしている箇所が認められる. 清水宮池東方では, 4本の隣接する畦が比高0.5~1mの低断層崖を境に系統的に右横ずれ変位している. これらの畦は, 清水宮池の位置する開析谷の前面に形成された沖積扇状地上に位置しており, 元来等高線とほぼ平行する南北方向に作られていたと考えられる. また勝尾寺川の左岸でも2本の畦が右にずれしており, さらにその東方では低位段丘3面を開析する段丘崖が約10m右ずれ変位している. この地域も宅地化・土地区画整理事業によって畦のずれは消失してしまっている. 空中写真や大縮尺地形図の判読と現地調査に基づくと, これらの変位量は2~4m程度と見積もられ

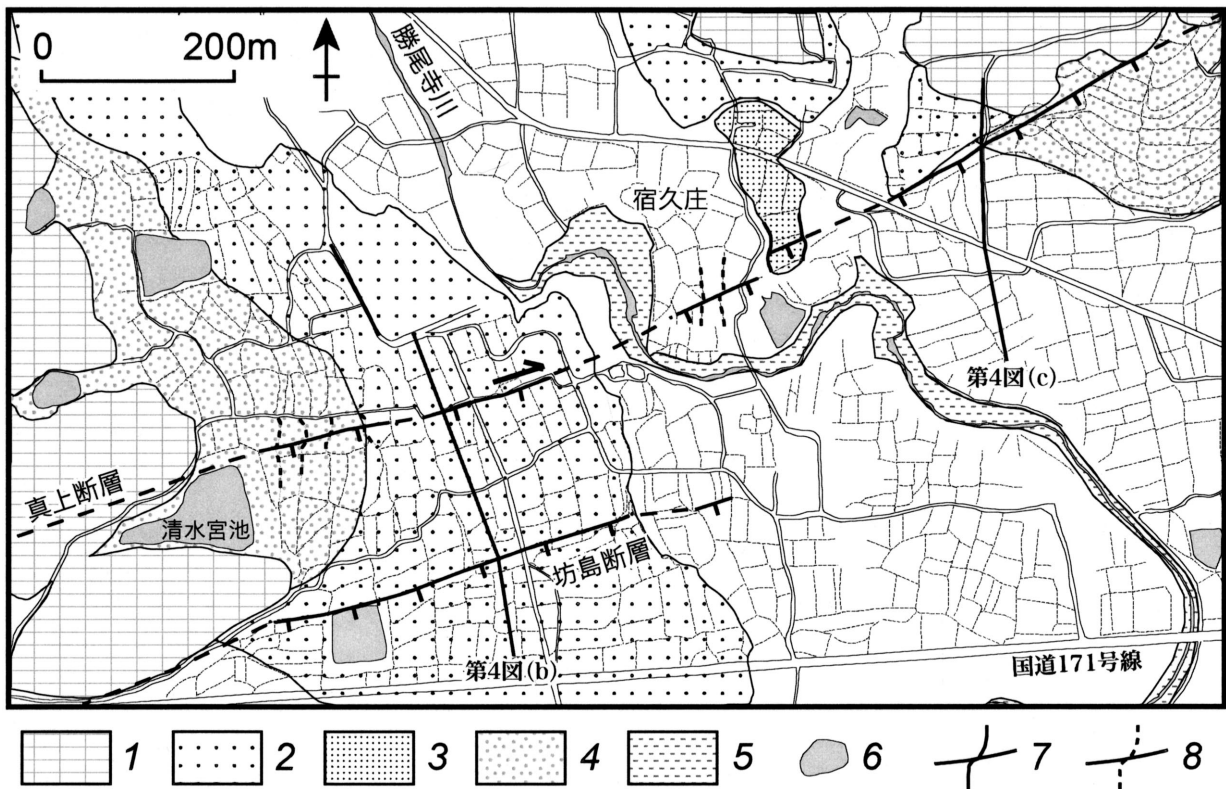
る. 真上断層に沿っても安威川西岸の2ヶ所でトレンチ掘削調査が行われ, 最新活動時期が鎌倉~室町時代以降に限定されている(寒川ほか, 1996).

4. 安威断層

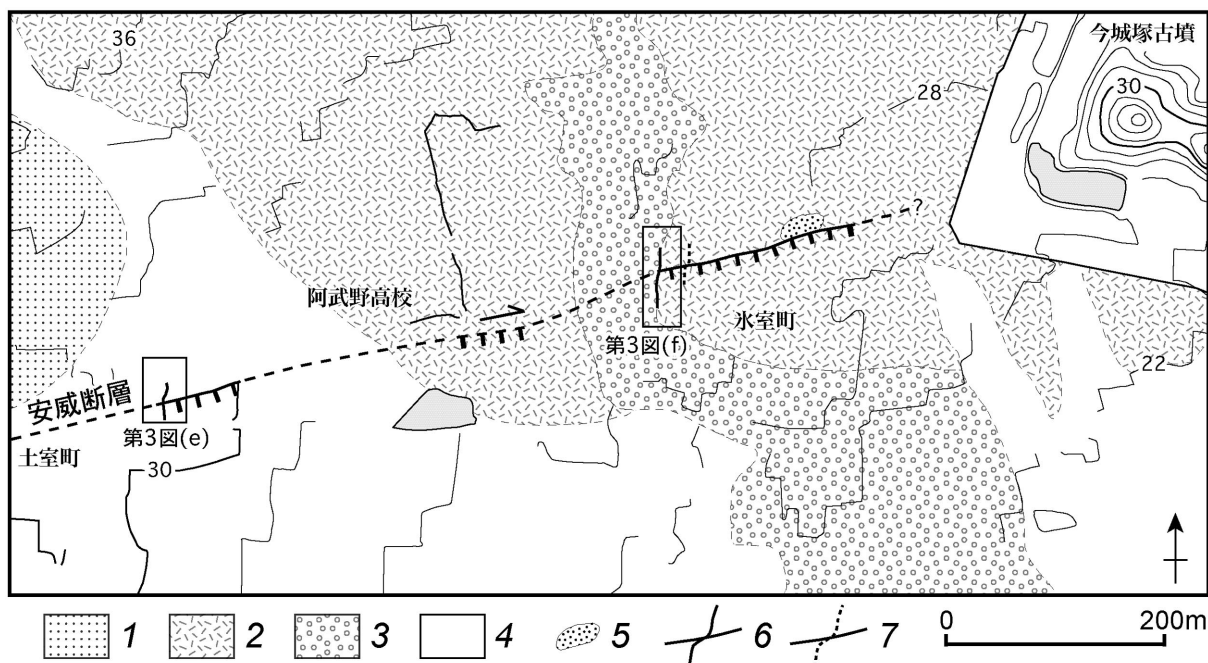
安威断層は真上断層の南方約500mを茨木市から高槻市にかけて並走する長さ約3kmの活断層で, 継体天皇陵の北に明瞭な北落ち低断層崖を形成している(第1図, 寒川, 1978; 岡田・東郷編, 2000). 真上断層と安威断層の間には, 茨木低地帯と呼ばれる盆地状の構造が形成されている(寒川, 1978; 寒川ほか, 1996). 茨木市耳原では, 寒川ほか(1996)によってトレンチ掘削調査が行われ, この断層の最新活動も慶長伏見地震に対比される可能性の高いことが明らかとされた. またトレンチ掘削調査地周辺の断層崖に直交する段丘崖が約12m, 水田の畦が約3m右横ずれに食い違っており, 段丘崖のずれは4回, 畦のずれは1回の地震の変位量を示すと解釈されている(寒川ほか, 1996). 従来, 安威断層は継体天皇陵の北東方付近で終わると考えられてきたが(寒川, 1978, 岡田ほか, 1996), 今回の調査で断層はさらに東へのびることが明らかとなった. 第7図は従来考えられていた安威断層の東端付近以東の地形分類・断層分布を示したものである. 断層は沖積低地1面以下の比較的新しい地形面が分布する地域を横断する. そのため断層崖の比高は小さいものの, 比較的明瞭な南落ちの低断層崖が高槻市氷室町付近まで断続的に分布する. また断層崖の東端付近には, プレッシャーリッジ状の高まりが断層の隆起側に認められる. 高槻市土室町付近では比高約30cmの低断層崖が約100mにわたって連続し, 水田の畦が約4.5m右横ずれしている(第3図e). また氷室町では, 比高30~50cmの低断層崖が沖積低地1面上に約200mにわたって連続する. その西端部では沖積低地1面と沖積低地2面を境する比高約1mの段丘崖が約2.5~3m右横ずれしている(第3図f). ただしこの段丘崖に対応する沖積低地2面の西側の段丘崖には変位は認められない. これは現在の河川の流路が沖積低地2面の西縁に沿っているため, 変位地形が浸食された可能性があるとして解釈される. これらの変位地形の延長上には今城塚古墳が位置する. この古墳は大小の地すべりによって墳丘が著しく変形していることが詳細地形図の解析や数次にわたる発掘調査から明らかにされている(高槻市教育委員会, 1999). 安威断層の延長上で, 墳丘や内堤が右横ずれをしている可能性のある箇所が複数存在するが, この古墳が築造以降に人為的影響を多大に受けていることから, それらは信頼性の高い変位基準とは言い難い(寒川 旭氏, 私信). また今城塚古墳の東側には条里制遺構が広く発達するが, 安威断層の延長上ではそれらに明瞭な変位は認められない.



第5図 箕面市坊島周辺における坊島断層による変位地形と地形分類図。基図は箕面市発行1/2500地形図を使用。等高線間隔は2m。凡例は1：低位段丘1面，2：低位段丘2面，3：沖積低地面，4：ため池，5：寒川ほか（1996）によるトレンチ掘削調査地点，6：現存する横ずれ変位指標（数値は地形図から計測した横ずれ変位量），7：終戦直後の米軍撮影空中写真では認めることができるものの現存しない横ずれ変位指標（数値は地形図から計測した横ずれ変位量）。箕面鍋田川の東約100mに位置する水田の畦のずれの量3mは寒川（1996）による。活断層の表記は第2図と同様。



第6図 茨木市宿久庄付近における真上断層に沿った水田の畦の系統的なずれ。縮尺1/10000米軍撮影空中写真より土地区画を抽出したものに、断層トレースと地形分類を重ねて示す。凡例は1：丘陵，2：低位段丘2面，3：低位段丘3面，4：沖積扇状地面，5：勝尾寺川の氾濫原，6：ため池，7：現存する横ずれ変位指標，8：終戦直後の米軍撮影空中写真では認めることができるものの現存しない横ずれ変位指標。活断層の表記は第2図と同様。



第7図 高槻市水室町周辺における安威断層による変位地形と地形分類図。基図は高槻市発行1/2500地形図を使用。等高線間隔は2m。凡例は1：低位段丘2面，2：沖積低地1面，3：沖積低地2面，4：沖積低地3面，5：プレッシャーリッジ状の高まり，6：現存する横ずれ変位指標，7：終戦直後の米軍撮影空中写真では認めることができるものの現存しない横ずれ変位指標。活断層の表記は第2図と同様。

有馬 - 高槻断層帯の最新活動に伴う横ずれ変位量分布

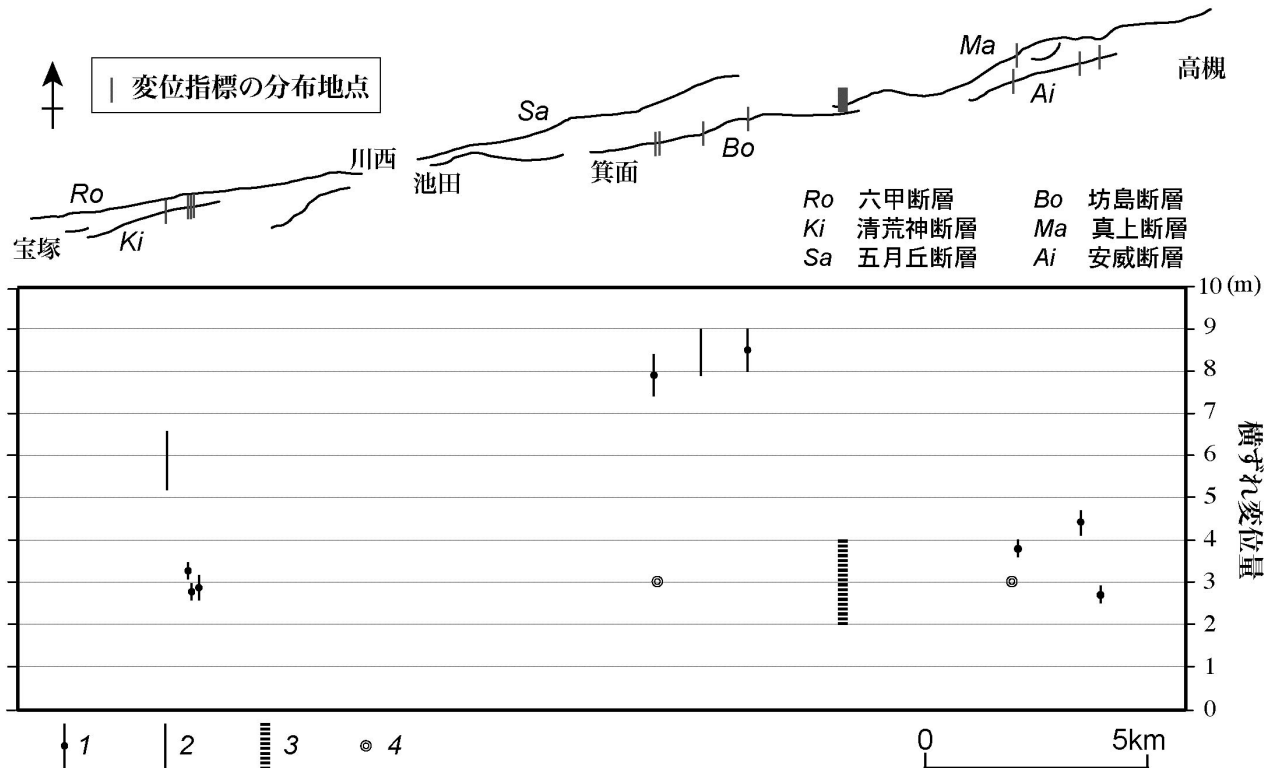
前節では、地形や土地区画の系統的な右ずれが存在する4つの地域について記載したが、その他にも数カ所で同様な変位が認められる。これらの変位量データのうち、最新および過去数回の地震に伴う変位量を示すと考えられる10m以下のものを東西方向に並べたものが第8図である。この図には寒川（1996）によって報告された畔のずれのデータも加えている。変位指標の分布は地域的な偏りが著しいが、宝塚市から高槻市に至る区間でデータを得ることができた。変位量の最小値はほぼ2～4mの範囲内にあり、実測できたものに限定すると3m程度のもが多い。寒川ほか（1996）はトレンチ掘削調査結果と歴史地震記録や遺跡の地震跡などのデータを考慮して、有馬 - 高槻断層帯の最新活動を1596年の慶長伏見地震に対比しており、上記の約3mの変位はその地震に伴う変位量であると考えられる。最新イベント時の変位量を記録している変位指標の多くは水田の畔等であるが、段丘崖や天井川等の地形も含まれる。慶長伏見地震のもうひとつ前の活動は約2800年前の縄文時代晩期にあったと推定されており（寒川ほか，1996），これらの地形が比較的最近の地質時代（完新世後期～歴史時代）に形成されたことを示す。第8図中の5～9mの変位量を

示す変位指標は、過去2～3回の地震に伴う変位量を示す可能性があるが、事例が少なく詳細は不明である。20mを超えるような変位量を示す指標は低位段丘面上の小規模な段丘崖であり（第5図）、これらは完新世の複数回の断層変位によるものと考えられ、変位の累積性が認められる。断層帯に沿う変位量分布パターンについては、データが少ないため今回の調査では明らかにできなかったが、特に変位量が大きな区間（あるいは小さな区間）は認められない。

まとめ

1596年の慶長伏見地震の起震断層のひとつと考えられている有馬 - 高槻断層帯の最新および過去数回の断層活動に伴う変位量を明らかにする目的で、断層帯中部～東部の大縮尺空中写真判読および現地調査を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

1. 断層帯が山地と平野・丘陵の境界に沿って分布する宝塚市から高槻市の区間において、土地区画や段丘崖・天井川の数m～約30mの横ずれ変位が確認できた。変位指標の分布は地域的な偏りが著しいが、それぞれの区間では系統的かつ累積的な変位が認められる。
2. 変位量の最小値は約3mであり、これが1596年慶長伏見地震時の変位量と考えられる。測定数が少ないこともあり、変位量分布の詳細を明らかにすることはできなかったが、



第8図 有馬 - 高槻断層帯中～東部における，最新および過去数回の変位量を記録していると考えられる指標の分布．活断層の分布は池田ほか編（2002）を修正・簡略化して示す．凡例は1：実測して得られた変位量（縦線は誤差の範囲を示す），2：実測して得られた変位量（ある範囲内の値として計測されたもの），3：茨木市宿久庄地区における複数の変位指標について空中写真や地形図に基づいて見積もられた変位量，4：寒川（1996）によって報告された変位量．

特に変位量の大きな（あるいは小さな）区間は認められない．

3．安威断層は従来考えられていたよりも少なくともさらに約500m東へのびる．その延長上に位置する今城塚古墳の変形は，地震動のみならず断層変位に起因する可能性もあり，今後詳細な調査が期待される．

4．微小な変位地形や土地区画のずれに着目することによって，歴史地震に伴う変位量の復元がある程度可能であることが確認されたが，調査地域の多くの地点で土地区画整理事業や宅地化によって変位指標が消失しつつある．歴史地震で活動した他の断層についても，同様な調査を早急に進めていく必要がある．

謝 辞

本研究に要した費用の一部には，東京大学地震研究所特定共同研究プログラム（2002-A-04：古地震）の援助を受けた．京都大学の岡田篤正教授・東京大学地震研究所の島崎邦彦教授には研究全般にわたってご指導頂いた．産業技術総合研究所関西センターの寒川 旭博士と高槻市立埋蔵文化財調査センターの高橋公一氏には，安威断層東部の変位

地形や今城塚古墳の断層変位の可能性等について議論して頂いた．京都大学大学院の杉戸信彦氏には原稿に対して有益なコメントを頂いた．以上の方々深く御礼申し上げます．

文 献

後藤秀昭・堤 浩之・遠田晋次，2003，中央構造線活断層系・畑野断層の最新活動時期と変位量，地学雑誌，112，531-543．
 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編，2002，「第四紀逆断層アトラス」，東京大学出版会，254p．
 活断層研究会編，1991，「新編日本の活断層 - 分布図と資料」，東京大学出版会，437p．
 Maruyama, T. and Lin, A., 2002, Active strike-slip faulting history inferred from offsets of topographic features and basement rocks: a case study of the Arima-Takatsuki Tectonic Line, southwest Japan, *Tectonophysics*, 344, 81-101.
 中西一郎，2002，文禄五年閏七月九日（1596年9月1日）の地震による伊予での被害を示す史料，地震，55，311-316．
 中田 高・岡田篤正・鈴木康弘・渡辺満久・池田安隆，1996，1：25000都市圏活断層図「大阪西北部」，国土地理院．
 「日本地質図大系」編集委員会編，1996，「日本地質図大系 - 近畿地方」，朝倉書店，126p．

- 岡田篤正・植村善博・東郷正美・中田 高・渡辺満久, 1996, 1:25000都市圏活断層図「京都西南部」, 国土地理院.
- 岡田篤正・東郷正美編, 2000, 「近畿の活断層」, 東京大学出版会, 395p.
- 寒川 旭, 1978, 有馬 - 高槻構造線中・東部地域の断層変位地形と断層運動, 地理学評論, 51, 760-775.
- 寒川 旭, 1996, 有馬 - 高槻構造線活断層系を調べた日々, 地質ニュース, 503, 23-31.
- 寒川 旭・杉山雄一・宮地良典, 1996, 有馬 - 高槻構造線活断層系の活動履歴及び地下構造調査, 平成7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. 259, 33-46.
- 杉戸信彦・東郷正美・竹村恵二・岡田篤正・野原 壯・高田圭太, 2002, 濃尾平野西縁部に位置する宮代断層の活動について, 活断層研究, 21, 51-57.
- 高槻市教育委員会, 1999, 「史跡・今城塚古墳 - 平成10年度・第2次規模確認調査 - 」, 8p.
- 谷 美由起, 2003, 有馬 - 高槻断層帯の幾何学的形態・変位速度分布に基づくセグメンテーション, 京都大学大学院理学研究科修士論文, 32p.
- 東郷正美, 2000, 「微小地形による活断層判読」, 古今書院, 206p.
- 東郷正美, 2002, 小松原断層沿いにおける1847年善光寺地震時の地表変位, 活断層研究, 22, 45-54.
- 堤 浩之・後藤秀昭, 2003, 四国の中央構造線活断層系の最新活動に伴う横ずれ変位量分布, 日本地理学会発表要旨集, 63, 238.
- 宇佐美龍夫, 1996, 「新編日本被害地震総覧 [増補改訂版]」, 東京大学出版会, 493p.
- (2004年5月6日受付)
(2004年6月10日受理)

キーワード

有馬 - 高槻断層帯, 最新活動, 横ずれ変位量

Key words : Arima-Takatsuki fault zone, most recent faulting event, amount of strike-slip displacement