

## 琵琶湖西岸活断層系南部, 特に堅田断層の補備調査

### Supplementary study of the southern part of the Biwako-seigan (west coast of Lake Biwa) active fault system, especially on the Katata fault

小松原 琢<sup>1</sup>・水野清秀<sup>2</sup>・松山紀香<sup>3</sup>

Taku Komatsubara<sup>1</sup>, Kiyohide Mizuno<sup>2</sup> and Noriko Matsuyama<sup>3</sup>

**Abstract:** The earthquake potential of the Biwako-seigan active fault system still remains uncertain because no convincing paleoseismological data has been obtained from its southern part. We conducted the following studies in the southwest coastal area of Lake Biwa, especially around the Katata fault: 1) analysis of existing boring data; 2) estimation of subsidence mode and rate of the coastal area from the depth distribution of AT tephra ca. 25 ka; 3) reexamination of damages and crustal movements by the 1662 Kanbun earthquake from newly-collected historical records; and 4) preliminary survey of the Katata fault with a newly-developed portable boring machine. The first study has revealed that only a very small amount of lacustrine sediments are distributed in the lowland between Lake Biwa and Katata fault. It suggests that clarification of rupture history of the Katata fault from the depositional environment change is quite difficult. The second study made clear that AT tephra is folded into an asymmetrical syncline and its vertical displacement attains more than 35 meters. The third study on historical materials has revealed that there is no significant difference between the landscape drawn before the 1662 Kanbun earthquake and the recent landscape around the Katata fault. It was also made clear that most of the cultural inheritance buildings near the fault system remain even after the 1662 earthquake without major repairs. These facts do not support the existing idea that the 1662 Kanbun earthquake was caused by the rupture of the Biwako-seigan fault system. The fourth boring study ascertained that the latest Pleistocene deposits distributed in Nouka area along the Katata fault are strongly deformed. However, it is also made clear that this area is not suitable for trenching survey because no Holocene deposit is distributed on the upthrown side.

**Key words:** active fault, historical earthquake, Lake Biwa, Kanbun earthquake

#### 1. はじめに

琵琶湖西岸活断層系(第1図)は, 文書史料に記された被害や湖畔の沈降と変位地形の新鮮さから, 1662(寛文二)年地震の起震断層と考えられてきた(たとえば大長・松田, 1982; 寒川・佃, 1987; 東郷ほか, 1998). しかし, 同断層系北部の饗庭野断層は, 地形・地質学的にみて, 縄文時代晩期に最新の活動を行って以来活動していない可能性が高く(小松原ほか, 1999), 地震危険度推定の上で断層系南部の評価が残された大きな課題となっている(杉山ほか, 1999). 筆者らは平成12年度に, 断層系南部, 特に断層活動履歴復元の上で有益な情報が得られることが期待される堅田断層および歴史記録の豊富な比叡断層の周辺において, 1) 既往ボーリング資料に基づく地質構造の推定, 2) 琵琶湖南部周辺における始良 Tn 火山灰の深度に基づく沈降量分布の見積もり, 3) 文書等史料に基づく寛文地震の地震像復元, および4) 簡易ボーリング等による予備的地質構造調査を行った.

<sup>1</sup> 地球科学情報研究部門 (Institute of Geoscience)

<sup>2</sup> 活断層研究センター (Active Fault Research Center)

<sup>3</sup> 有限会社ジーアール (G. R. Co., Ltd.)

8月13日受付, 8月31日受理

## 2. 既往ボーリングに基づく堅田断層周辺地域の地質構造の推定

堅田断層は長さ約 11km の南北性逆断層である(第 2 図)。この断層の下盤(東)側には、琵琶湖西岸活断層系周辺では数少ない低平な三角州性の低地が分布する。そのうち、広い範囲の地盤高は現湖水位(標高 84.4m)を基準として $\pm 2\text{m}$ の範囲内であり、湖水位変化や地殻変動によって広範囲で顕著な環境変化が生じると考えられる。特に堅田内湖の周辺は中世からの史料が多く残され、全域に糸里地割が発達するため(第 3 図)、歴史史料と合わせて環境変化を示す資料が得られることが期待される。こうした点から、堅田周辺を中心に 450 本あまりの既往ボーリング資料を収集し、沖積層の地質構造と古環境変遷を推定することを試みた。

堅田地区と苗鹿地区における西北西-東南東方向の地質断面を第 4 図の A~E に示す。この図の地層区分は層相と標準貫入試験結果に基づくもので、年代測定や一部試料が得られたものを除いて火山灰の分析を行っていないため、今後変更の余地がある。しかし、各断面の特徴を概ね以下のようにまとめることができる。

(1) 真野川付近(A-A'断面)では、湖西線と国道 161 号線の間幅 100m 以上の撓曲帯があり、その東側に細粒堆積物がちの地層が堆積する。連続的な細粒堆積物が卓越する地層(Ac 層)は撓曲帯直東で最も厚く、撓曲帯から離れるにしたがって薄くなる。Ac 層基底は西に向かって傾斜する。

(2) 堅田内湖をまたぐ断面(B-B'および C-C'断面)でも、真野川付近の断面と同様に Ac 層は国道 161 号線付近で最も厚く、堅田内湖周辺にはほとんど堆積していない。B-B'断面では Ac 層基底は西に向かって傾斜する。また、堅田内湖の周囲には砂がちの地層(As 層)が厚く堆積している。

(3) 天神川付近(D-D'断面)では、上記の断面ほど明瞭な傾向は認められないが、A-A'断面と同様に湖西線-国道 161 号線の間幅に撓曲帯がある可能性が指摘できる。

(4) 苗鹿地区(E-E'断面)の丘陵地帯では古琵琶湖層群が地表に露出するが、低断層崖より数 10m 東では厚さ 10 数 m の軟弱な地層(A 層)が分布し、極めて急な撓曲ないしアバット不整合をなすと考えられる。低断層崖より約 300m 東まで始良 Tn 火山灰(AT)と考えられる火山灰層が緩く東傾斜する。

以上の各断面の特徴より、地質構造と堆積環境について、次の点が指摘できる。

(1) 堅田内湖の周囲に湖底堆積物がほとんど堆積していないことは、本内湖が単純に堅田断層の活動の繰返しによって成長してきたものではないことを示唆する。したがって、本内湖周辺の堆積環境の変化より地殻変動史を復元することは難しいと考えられる。

(2) 堅田地区の A-A'および B-B'断面などで Ac 層基底が撓曲帯に向かって西傾斜していることは、初生的な堆積構造としては説明しがたく、地殻変動を反影している可能性が高い。また、変位地形からは湖西線西方に主断層が存在すると考えられるが、その東側の低地にも撓曲帯が伏在する可能性が高い。この撓曲帯は真野川以北の堅田断層の延長付近に位置し、同川を挟んで雁行する断層の接合部では 2 本の断層が並走している可能性が示唆される。

(3) 苗鹿地区では、低断層崖地形付近で沖積層の厚さが急変することは確かであるが、その東側の約 300m 以上の区間でも緩やかな東傾動が生じている可能性が高い。

## 3. 琵琶湖南部周辺における始良 Tn 火山灰(AT)の深度分布とその意味

琵琶湖南部(以下、南湖と呼ぶ)周辺では多くの地点で AT が確認されており、その埋没深度から当地域の地殻変動様式と沈降量を解明することを試みた。南湖周辺では AT はほぼ純層で厚さ 10~20cm の白色ないし灰色火山灰層として明瞭に識別できるため、既往の土質調査ボーリングにしばしば記載されている。第 5 図に既往の土質調査および 1996 年度の活断層調査等により得られた沖積面(ないし河床)と AT 出現位置との比高を示す。このうち、琵琶湖

西岸の3地点以外の地点のATは、ガラスの屈折率によって確実に同定されている。また、第6図に堅田断層および比叡断層からの距離とATの分布深度(沖積面との比高)の関係を示す。この図は断層直交方向の地質構造断面の概略を示すものと考えて良い。図に示されるように、ATと沖積面との比高は非対称向斜状の形を示す。このことから、南湖周辺のATは堅田・比叡両断層の東数100m~2kmに軸をもつ非対称な向斜状に変位し、その上下変位量は少なくとも35m余りに達すると考えられる。琵琶湖西部を中心とする非対称な向斜構造は、南湖西岸の雄琴温泉と東岸の烏丸半島における喜撰火山灰(前期更新世末期ごろに降下)の深度(それぞれ720m, 481m)とも調和的であり、大部分が累積的な地殻変動の結果であると考えられる。この非対称向斜構造の形成が全て琵琶湖西岸の活断層の活動に伴うものとする、南湖の幅(約2~5km)から考えて、西岸の沈降量は東岸の沈降量の約1.5~3倍に達し、西岸が1m沈降するイベントにより、東西両岸で数十cmの高度差が生じる可能性が高い。したがって、正確に同時代の旧湖岸線高度が知られるなら、m単位の変位量をもつ断層活動イベントを読み取ることが可能という仮説が成り立つ。

ところで、濱(1994)は琵琶湖の湖底遺跡調査結果より、地域毎に湖水位の変化過程が異なることを明らかにし、琵琶湖北西岸の傾動・沈降過程に関する重要な資料を提示した。今後、遺跡調査と沿岸堆積物の調査を組み合わせ、湖岸各地の旧湖岸線高度を復元すること(宮本・福澤, 2001)によって、琵琶湖西岸活断層系のような撓曲を主とする湖岸の活構造の活動時期を解明する一つの手がかりが得られる可能性がある。

#### 4. 史料による寛文二年地震の再検討

古くから琵琶湖西岸地域は寛文二(1662)年地震の震央と考えられてきた(たとえばImamura, 1947; 大長・松田, 1982; 寒川・佃, 1987)。この考えは、主として文書に記された被害記録と大長・松田(1982)によって明らかにされた琵琶湖南西岸地域の石高減少に基づいている。ここでは、従来引用されてこなかった資料に基づいて、寛文地震前後の地殻変動を再検討する。

##### 4.1 中世の絵などに記された堅田の景観

堅田断層が活動した場合、琵琶湖湖水位との比高が2m未満の低地が広がる堅田地区では、景観が大きく変化するはずである。寛文地震によって仮にmオーダーの上下変動があったなら、地震によって堅田内湖は大きく拡大し、かつ内湖と琵琶湖を隔てる浜堤上に位置する堅田集落と湖水位との比高は小さくなったと考えるべきであろう。寛文地震前の堅田の景観を記したものとして、中世末期に描かれた「堅田図」(天文年間: 1532~55作成)や、「近江名所図」(永録年間: 1558~70作成)が挙げられる(共に大津市, 2001所収)。「堅田図」に描かれた堅田内湖と琵琶湖を結ぶ水路と堅田集落の比高は、家の屋根の高さを大きく上回るようなものではなく、現在の地形景観と大差ない。「近江名所図」に描かれた景観も同様に、現在の地形と顕著な違いは認められない。

##### 4.2 文書史料と文化財の修復記録からみた比叡断層周辺の地震被害

比叡断層や膳所断層は古くから開発の進んだ大津市近郊に位置し、特に比叡断層の直上には桃山時代~江戸時代初期に建てられた建造物が多数ある(第7図)。それらのうち、文化財に指定された建造物は文化財保護担当者によって修復過程が記録されている。

これら建造物の修復記録と史料に記された被害記録から、寛文地震による大津市周辺の被害状況を推定し、土地条件と被害の関係について考察する。

滋賀県教育委員会(1997)などによると、比叡断層直上に位置する西教寺、日吉大社、盛安寺、園城寺(三井寺)の建造物に関する寛文地震直後の修復記録は今だ見出しされていない。また、西教寺によってまとめられた天台真盛宗宗学研究所(2001)には、末寺の倒壊が

記録されているにも関わらず、同寺本山の被害は記されていない。最近、園城寺所有の文書の解読と出版作業が行なわれているが、今のところ大きな被害記録は見い出されない。第7図には記していないが、堅田断層の上盤（西）側直近に位置する真野神田神社の本殿も近代に補修されているにも関わらず、近世の修復記録は見い出されていない。この中でも特に、構造的に弱い拝殿や鐘楼、および石垣に囲まれた小規模盛土上に築かれた建造物でも被害記録がほとんど残されていないことは注目に値する。

一方、多くの文書は、大津代官所や膳所城など近世初頭に湖岸を埋め立てて築いた建造物で大きな被害が生じていることを記録している（たとえば三木，1992）。また、聖衆来迎寺や善通寺など三角州や扇端部に位置する建造物で倒壊などの被害記録が残されている。

文化財の修復記録が無いことが必ずしも被災しなかったことを意味するとは限らないこと、被害を伝える史料には偏りがあること、近世初期に急速に湖畔域に拡大した大津市街と古代～中世以来の歴史を持つ山麓の寺社では同様の基準で記録が残されたとは限らないことなど多くの問題があるものの、多数の地点の被害記録を総合して一定の傾向を読み取ることは可能と考えられる。

このような観点で見ると、寛文地震の被害は、一般に扇状地など山麓部で小さく、扇端部から三角州、埋め立て地と湖岸に近くなるほど大きく、活断層からの距離と被害の大小には関係がないとすることができる。

以上は、寛文地震の際に比叡断層などの断層変位によって被害が生じたことを積極的に支持するものではなく、むしろ強震動や液状化により地盤の軟弱な湖岸付近で大きな被害が生じたことを示唆する。

## 5．大津市苗鹿地区における予備的地質構造調査

大津市苗鹿地区は、堅田断層の変位地形が最も明瞭な場所の一つであり、第4図 E-E' 断面に示されるように比較的狭い範囲で大きく撓曲している可能性が高く、トレンチや群列ボーリング等の精査適地と考えられた。しかし、ここでは交通量の多い市道と低断層崖がほぼ一致する可能性があるため（第8図）、精査前に予備的な地質調査が必要と考え、土研式簡易貫入試験と自作のコア採取装置（小松原・渡辺，2001 印刷中）による浅部地下地質構造調査を行なった。

簡易ボーリングは、ガードレールなどの杭打ちに用いられる打込み機を用いて外径 60.5～42.8mm の鉄管を深度数 m まで打込むもので、N 値 30 以上の砂層でも容易に採取できる利点がある一方、コアの伸縮が著しいため各層準の正確な深度が把握しにくい難点をもつ。本調査では、深度 3～4m まで土研式簡易貫入試験による貫入試験値（N<sub>c</sub> 値）を密に求め、地質構造の概略と地層境界の深度を把握した上で、簡易ボーリングによるコア採取及び <sup>14</sup>C 年代測定を行ない、地質構造を推定した。

その結果、傾斜した古琵琶湖層群を不整合に覆う約 10,000～12,000 yr.BP の <sup>14</sup>C 年代を示す段丘堆積物に変形が認められること、およびこの段丘堆積物を覆う軟弱な堆積物が市道を境に琵琶湖側で厚く堆積している可能性が高く、市道付近に断層ないし大きな撓曲構造が推定されることが示された（第9図）。特に、C 地点のコアでは段丘堆積物に 30～40° の傾斜が認められ、ここで著しい変形が確認された。しかし、撓曲構造（または断層）の中心は市道付近にある可能性が高い上、上盤にはほとんど完新統が分布していないことが明らかになり、当地は精査に適さないと判断した。

## 6．まとめと今後の方針

平成 12 年度は堅田・苗鹿地区における地質構造の解明、AT の深度分布の把握、史料等に基づく景観変化や被害状況の推定を行なったが、いずれも活動履歴復元に決定的な根拠は得られなかった。

また従来，比叡断層や堅田断層を含む琵琶湖西岸活断層系は 1662 年寛文地震の起震断層であると考えられてきたが，今回まとめた中世堅田の景観や比叡断層周辺の被害状況はむしろこれに否定的な傍証とみなされる．特に，寛文地震による琵琶湖西岸の沈降を示す証拠とされてきた大長・松田（1982）による湖岸の石高減少は，当地域の大部分で近世前半に領主が入り代わったこと（宇野ほか編，1987），それと関連して湖水位変動によって耕作地にも不耕地にもなる湖畔の田地を石高に含めていたか否か不明であること，さらには田畑の水没面積と石高減少量が一致しないことから，単純に地震性地殻変動だけの結果とみなすことは難しい（三木，1992）．また，玉露叢などの史料で「田畑八十五町余ゆりこむ」との記述があるものの，場所や規模を詳しく特定できるような記録はない．このことは，同じ寛文地震による湖畔の隆起・沈降を記した福井県三方五湖周辺の状況と大きく異なり，彼の地に比べ人口も多く，交通の要衝であった大津市周辺で明確な記録が残されていないことはむしろ不自然と感じる．以上から，琵琶湖西岸活断層系南部を寛文地震の起震断層と判断するには未だ十分な資料があるとは言えない．

今後，平成 8 年度のトレンチ調査で古墳時代の地層が変形している可能性が指摘された大津市真野地区周辺の地質構造調査と，寛文地震に関する史料の再調査を行ない，琵琶湖西岸活断層系南部の活動履歴を再検討する．

#### 謝 辞

ボーリング調査資料の収集にあたっては，田中主査をはじめとする大津市河川下水道部，同建築課，同道路建設課，滋賀県大津土木事務所，同湖西流域下水道事務所，同建設技術センター，同滋賀県道路公社，水資源開発公団琵琶湖総合管理所，および建設省近畿技術事務所の各位に大変お世話になった．滋賀県文化財保護協会の濱技術主任および横田技術主任には琵琶湖の湖底遺跡の調査の現状について御教示いただいた．滋賀県教育委員会の池野副主幹には文化財建造物の修復記録について御教示頂いた．大津市の河合芳嗣氏，井口利治氏には簡易ボーリングと簡易貫入試験にあたって用地借用の面で大変お世話になった．また現地作業にあたっては京都大学大学院の金田平太郎氏，長谷川真氏，木村治夫氏の各氏に御協力頂いた．以上の方々に篤く御礼申し上げます．

#### 文 献

- 大長昭夫・松田時彦（1982）寛文二年の近江の地震．古地震-歴史資料と活断層からさぐる-，東京大学出版会，203-230．
- 濱 修（1994）湖底の遺跡と集落分布．琵琶湖博物館開設準備室研究調査報告，no. 2，97-110．
- 池田 碩・大橋 健・植村善博（1984）琵琶湖南部・瀬田川周辺の地形．粟津貝塚湖底遺跡，滋賀県教育委員会・財団法人滋賀県文化財保護協会，6-58．
- Imamura, A. (1947) Seismic Activity on Both Sides of Fossa Magna. *Proc. Imp. Acad.*, **22**, 314-317.
- 小松原 琢・水野清秀・寒川 旭・七山 太・木下博久・新見 健・間野道子・吉村辰朗・井上 基・葛原秀雄・関司高志・中村美重・横井川博之（1999）琵琶湖西岸活断層系北部・饗庭野断層の活動履歴．地震 2，**51**，379-394．
- 小松原 琢・渡辺史郎（2001）簡易打込み式コア採取装置の試作．応用地質，**41**，印刷中．
- 小山修司（1991）石山貝塚遺跡のテフラ．国道 422 号線改良事業に伴う石山貝塚発掘調査報告書．滋賀県教育委員会・財団法人滋賀県文化財保護協会，8-11．
- 三木晴男（1992）江戸時代の地震災害-寛文二年五月一日近江地震の場合- 歴史災害のはなし．思文閣，77-169．
- 宮本真二・福澤仁之（2001）最終氷期以降の琵琶湖の湖水位・旧汀線変動．月刊地球，**23**，381-386．
- 水野清秀・小松原 琢・七山太・寒川 旭・山崎博史（1997）琵琶湖西岸活断層系の活動履歴調査．地質調査所研究資料集，no. 303（平成 8 年度活断層研究調査概要報告書），23-35．

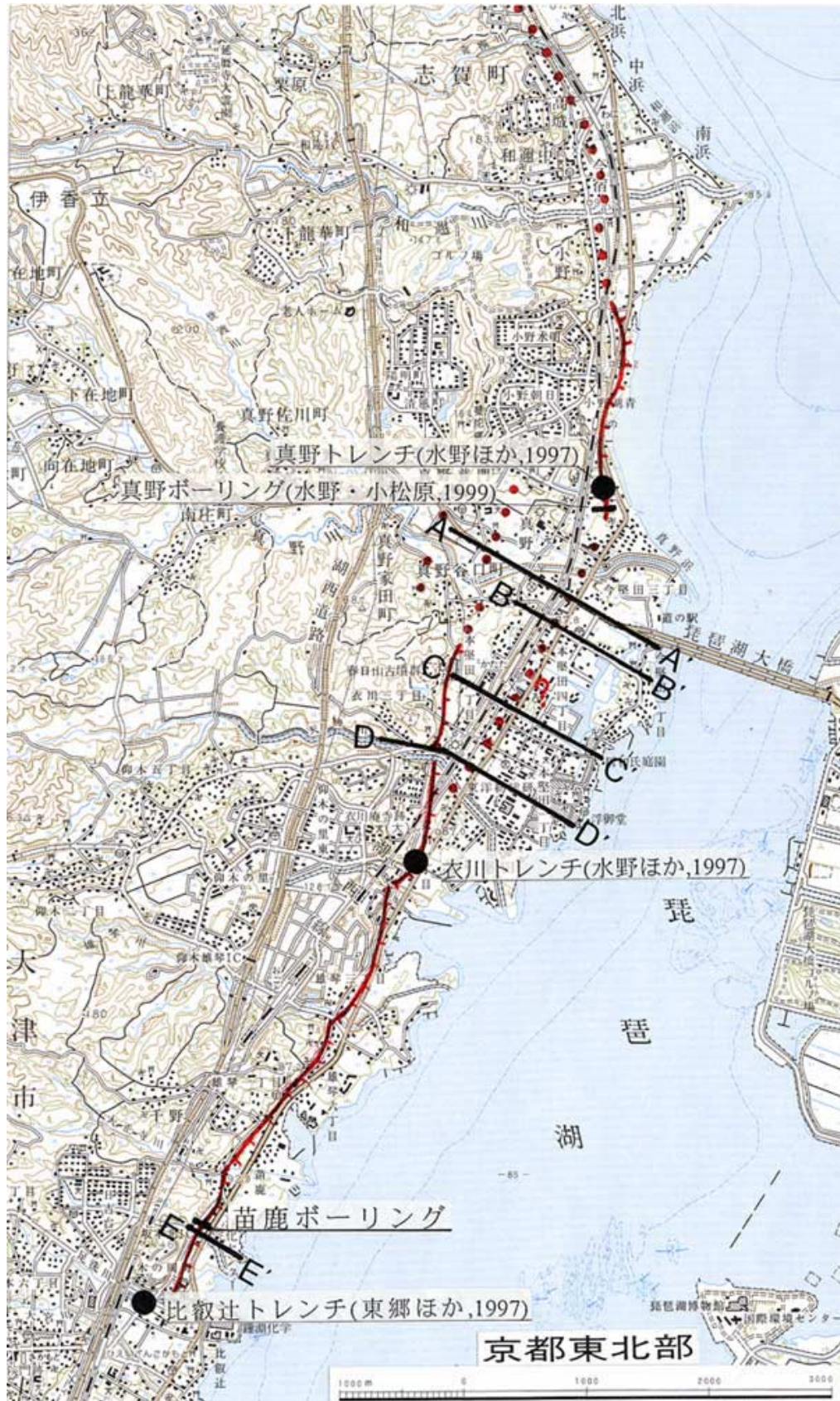
- 水野清秀・小松原 琢 (1999) 琵琶湖西岸活断層系堅田断層及び今津-高島沖湖底断層の補備調査．地質調査所速報，no. EQ/99/3 (平成 10 年度活断層・古地震研究調査報告概要報告書)，215-224.
- 大津市 (1999) 図説大津の歴史 上巻．大津市，263p．
- 寒川 旭・佃 栄吉 (1987) 琵琶湖西岸の活断層と寛文 2 年 (1662 年) の地震による湖岸地域の水没．地質ニュース，no. 390，6-12.
- 滋賀県教育委員会 (1997) 滋賀県文化財目録 (平成 8 年度版)．滋賀県，315p．
- 杉山雄一・下川浩一・栗田泰夫・佐竹健治・水野清秀・吉岡敏和・小松原 琢・七山 太・苅谷愛彦・吾妻 崇・伏島祐一郎・佃 栄吉・寒川 旭・須貝俊彦 (1999) 近畿三角地帯における主要活断層の調査結果と地震危険度．地質調査所速報，no. EQ/99/3 (平成 10 年度活断層・古地震研究調査概要報告書)，285-309.
- 天台真盛宗宗学研究所 (2001) 天台真盛宗年表．総本山西教寺，247p．
- 東郷正美・佐藤比呂志・岡田篤正・松山紀香 (1997) 1994 年堅田断層 (比叡辻地区) トレンチ調査．活断層研究，no. 16，53-58.
- 東郷正美・佐藤比呂志・岡田篤正 (1998) 琵琶湖西岸活断層系，堅田断層の極新时期変位について．法政大学多摩研究報告，13，1-22.
- 宇野日出生・杉江 進・立川 洋 (1987) 新修大津市史 第 10 巻年表・便覧．642P．
- 吉川周作 (1999) 琵琶湖東岸・烏丸地区深層ボーリングコアの火山灰層序．琵琶湖博物館研究調査報告，no. 12，75-87.

#### 成果の公表

- 水野清秀・小松原 琢・松山紀香 (2001) ボーリング資料から推定される琵琶湖西岸断層系，堅田断層の活動性 (予報)．地球惑星科学関連学会 2001 年合同大会，Jm-P020．



第1図. 琵琶湖西岸活断層系の概要.  
Fig. 1. Outline of the Biwako-Seigan (west coast of Lake Biwa) active fault system.



第2図. 堅田断層および地質断面の位置.

基図は国土地理院発行5万分の1地形図「京都東北部」.

点線は変位地形が不明瞭な撓曲や伏在断層を示す.

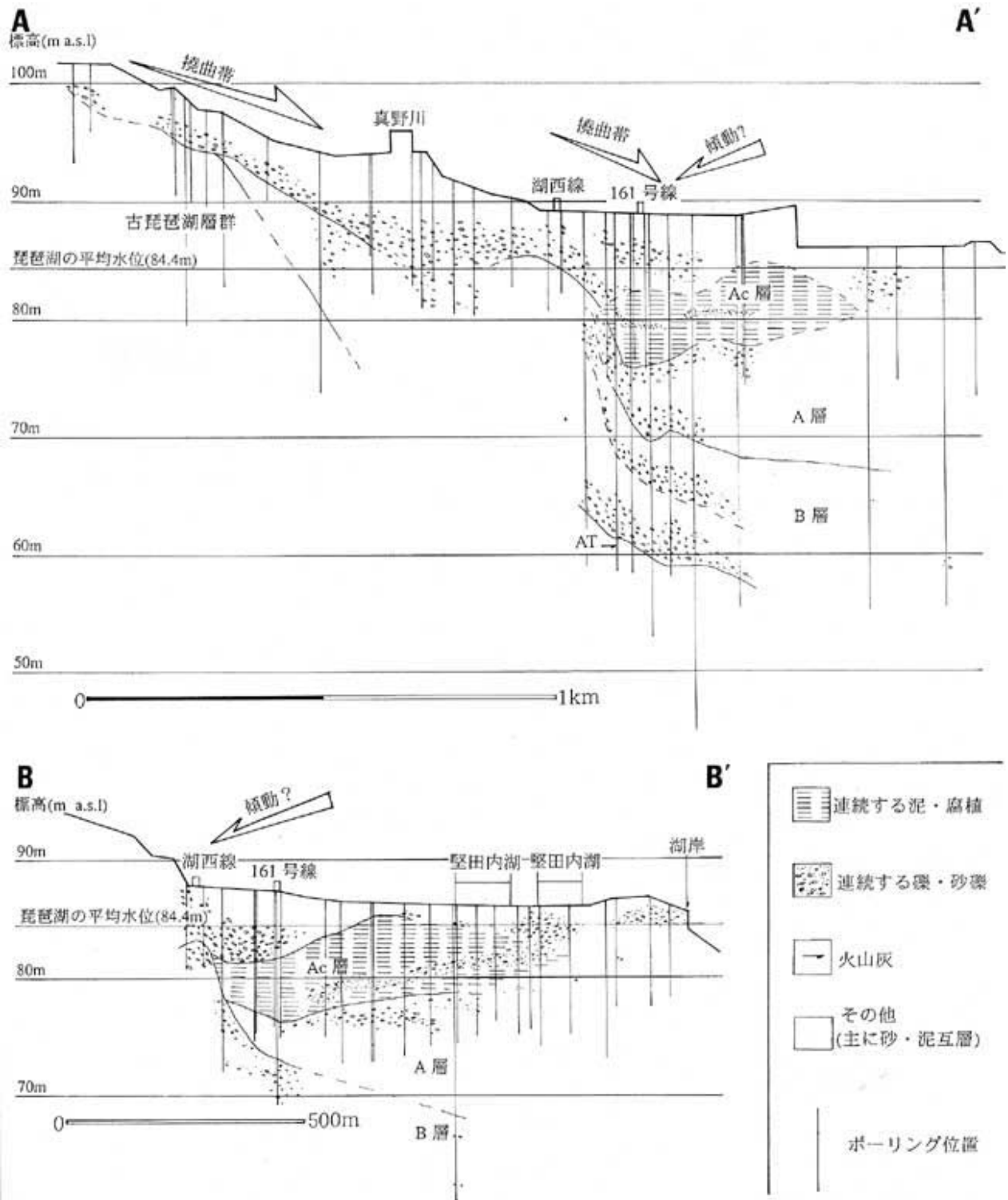
Fig. 2. Location of the Katata fault and cross sections. Dotted lines indicate flexure and concealed fault.



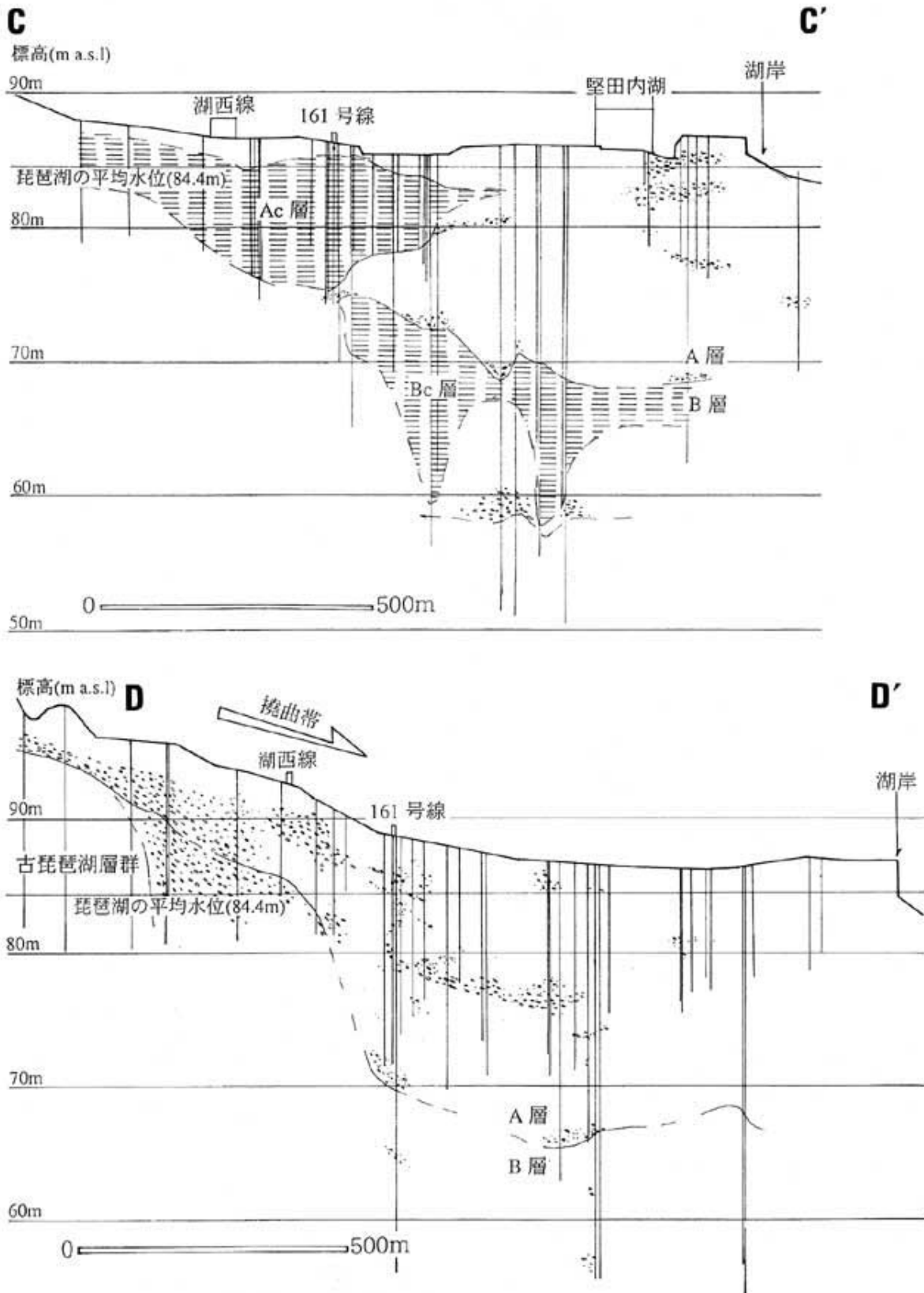


第3図．堅田内湖周辺の空中写真．国土地理院撮影 KK-61-10 C-17-5．

Fig. 3. Aerial photograph around Katata inner lake. Geographical Survey Institute, KK-61-10 C-17-5.

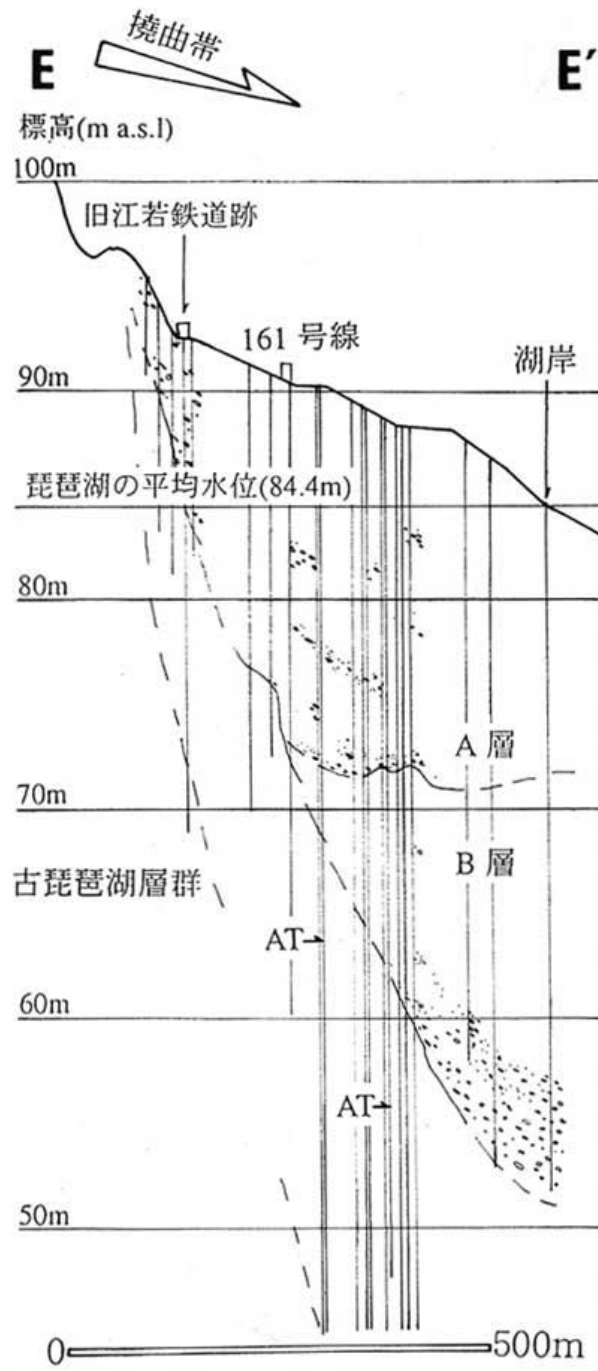


第4図. 堅田および苗鹿地区周辺の地質断面 (その1).  
 Fig. 4. Geologic cross sections around the Katata and Nouka areas (1).



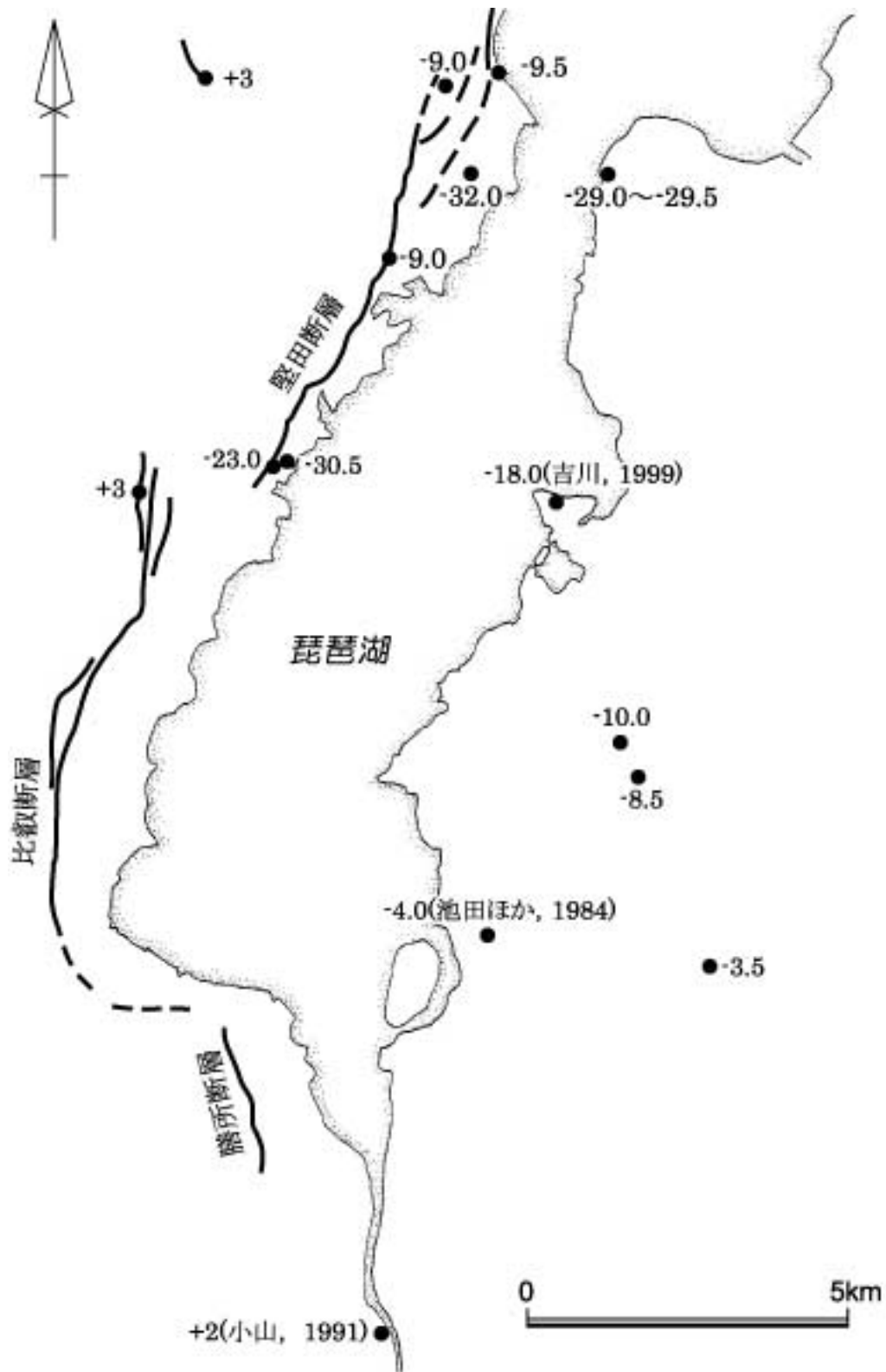
第4図(続き). 堅田および苗鹿地区周辺の地質断面(その2).

Fig. 4 (continued). Geologic cross sections around the Katata and Nouka areas (2).

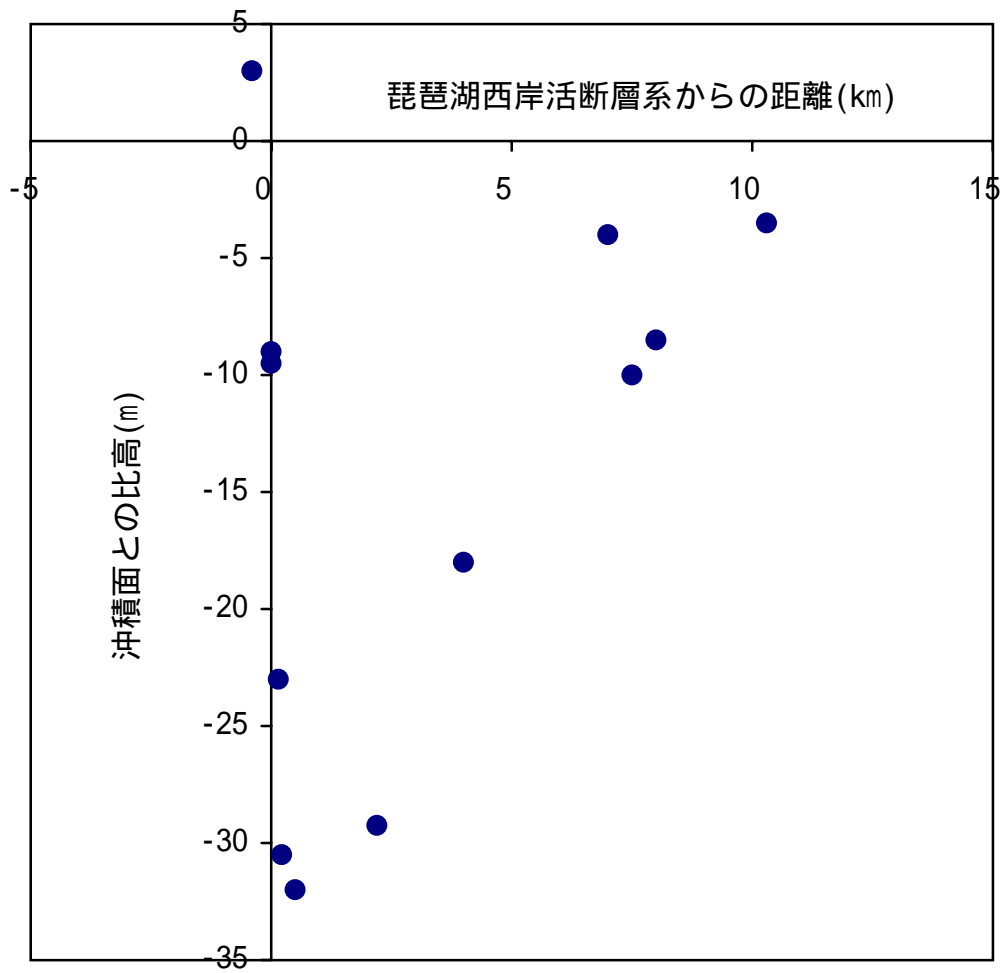


第4図(続き). 堅田および苗鹿地区周辺の地質断面(その3).

Fig. 4 (continued). Geologic cross sections around the Katata and Nouka areas (3).

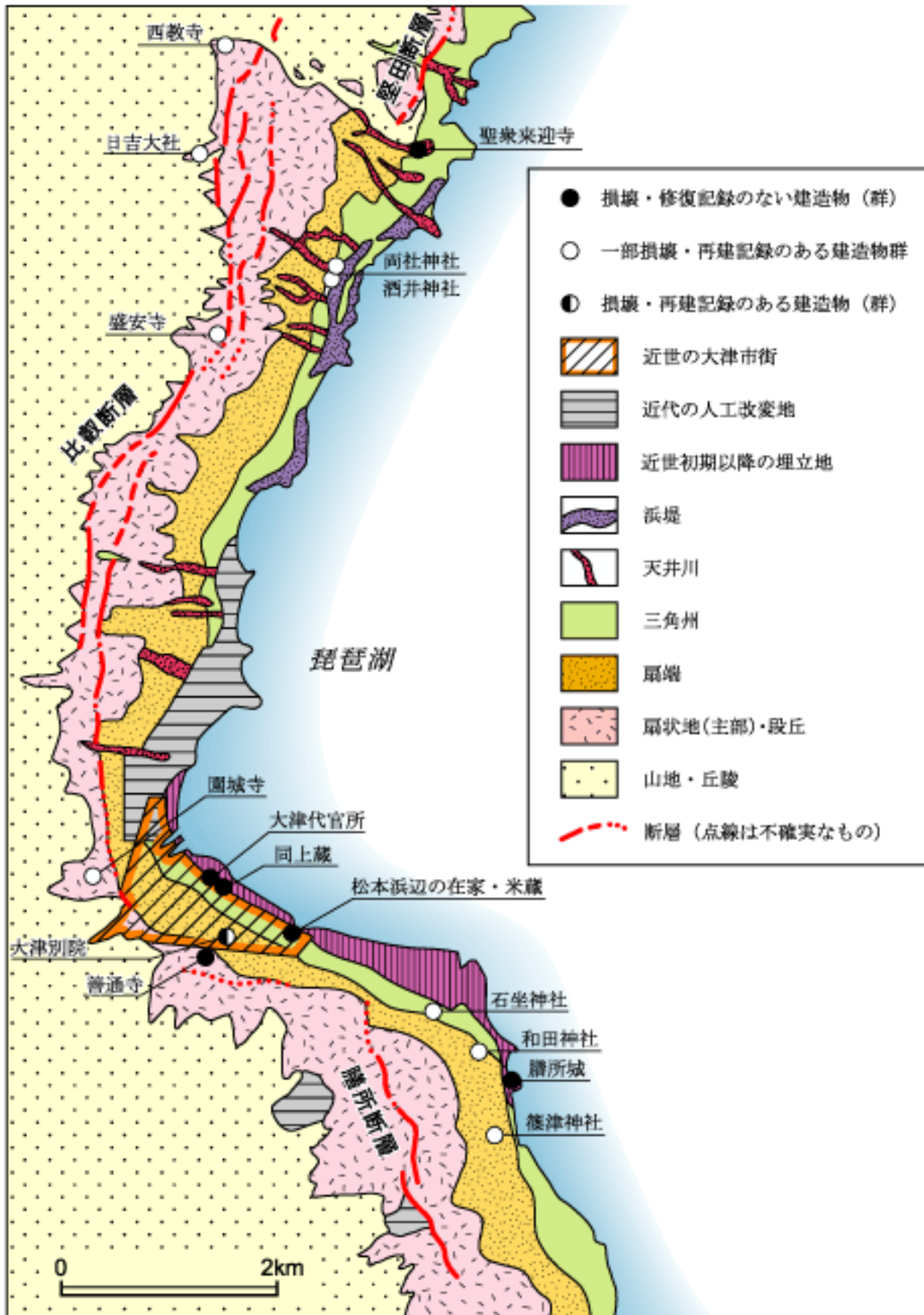


第5図. AT火山灰(約2.5万年前)の分布高度(沖積面との比高, 単位m).  
 Fig. 5. Relative height of the Aira-Tanzawa tephra (AT; c.a. 2.5 ka) to the alluvial surface (m).



第 6 図. AT 火山灰の分布高度（沖積面との比高）と琵琶湖西岸活断層系からの距離との関係.

Fig. 6. Relationship between distribution depth of AT tephra and its distance from the Biwako-seigan active fault system.



第7図. 地形区分と1662年寛文地震による建造物被害の関係。

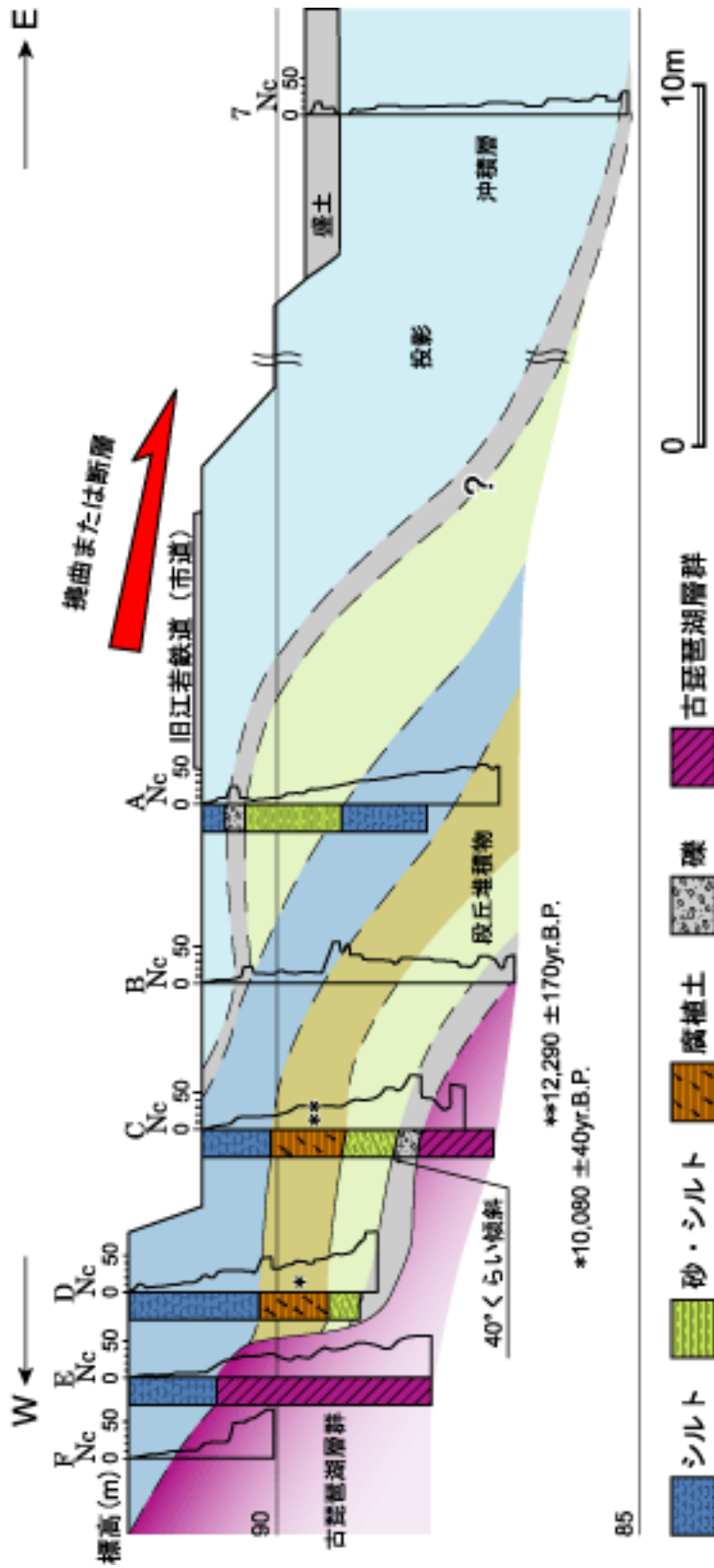
Fig. 7. Relationship between geomorphic units and damages of buildings due to the 1662 Kanbun earthquake.



第8図. 苗鹿地区の堅田断層と調査地点位置.

Fig. 8. Location of the Katata fault and survey points in the Nouka area.





第9図. 苗鹿地区の推定地質断面.

Fig. 9. Inferred geologic cross section of the Nauka area.