

# 三方湖ボーリング調査による地下地質と三方断層帯の活動性評価 Subsurface Geology Clarified by Drillings in the Lake Mikata Lowland and Activity of the Mikata Fault Zone, Central Japan

岡田 篤正・加藤 茂弘・石村 大輔  
Atsumasa OKADA, Shigehiro KATOH, Daisuke ISHIMURA

## 1. 調査の目的と概要

三方五湖を含む三遠三角地は若狭湾南岸中央部に位置する沈降域であり、東側を三方断層帯に、南側を熊川断層に限られた低地である(図1A;活断層研究会編、1991)。この低地は厚い第四紀層で埋積されており、特に水月湖は年縞を示す湖沼性堆積物にタービダイトや広域火山灰層を挟在することで注目され、詳しいC-14年代測定も行われている(福沢ほか、1994、1995)。

三方断層(の一部)とこれから北方へと派生する日向断層は1662年寛文・若狭近江地震を引き起こして活動した(水野ほか、1999;金田ほか、2000;岡田・東郷編、2000)が、三方湖低地は年代が解明できる厚い堆積物を有するので、沈降過程や低地間の相互比較が可能である(竹村ほか、1994)。また、三方断層帯の活動性を解明するためにも貴重な地域となっている(岡田、2004)。

今回、三方湖東岸の鳥浜(生倉)において、深さ60mのオールコアボーリングを実施した。このコア試料を対象に、層相・層序の記載と測色・帯磁率測定、<sup>14</sup>C年代測定およびテフラ分析など各種の分析・解析を行い、詳しい年代値を入れた柱状図層序を確立した(図1B、図3)。まず、この結果自体の吟味を行ってから、三方低地の形成過程について、従前の資料を含めて再検討する。さらに、既往のボーリングや、地形・地質資料などを比較検討して、三方断層帯の活動性や三遠三角地における第四紀地殻運動を考察する。

## 2. 従来の研究経過

岡田(1984)は当時までに得られた野外調査、年代測定値などに基づいて、三方五湖低地の形成過程と地殻運動を集約的に述べたが、この地域ではその後も数多くの調査研究が行われてきた。竹村ほか(1994)、福沢ほか(1994、1995、1996)、水野ほか(1999)、中江ほか(2002)は幾つかの学術ボーリング調査を実施して、地下地質の把握や古環境変遷の解明を行ってきた。

1995年兵庫県南部地震後の主要活断層の調査は主に地質調査所により行われた。しかし、三方断層中央部でのトレンチ調査やボーリング調査は適地が検出されず、中央部では実施されなかった。したがって、三方断層中央部での最新活動期や活動性に関して、精度の高い成果は得られなかった。三方断層北部で行われたトレンチ調査やボーリング調査では、最新活動時期が解明され、約40cmの上下変位が認められた(小松原ほか、1999)。これは、三方断層全線がその時に活動したのか、日向断層の活動に付随した動きなのかの判定が難しい結果となっているが、三方断層北部の性質については重要な成果が得られたといえる。

一方、日向断層の位置や性格は、水野ほか(1999)、小松原ほか(2000)、金田ほか(2000)など

により詳しく把握された。岡田・東郷編(2000)や池田ほか編(2002)などでも、三方断層帯や周辺の活断層(熊川断層など)の概略的な性質が述べられてきた。

### 3. 若狭町気山(中山)付近の三方断層の地形・地質・地下地質構造

現在、中日本高速道路(株)は舞鶴若狭高速自動車道を建設中であり、三遠三角地内の低地で数多くのボーリングが実施されている。とくに若狭町気山(中山)では、自動車予定道が三方断層を斜断するので、その付近では群列状に多くのボーリングが実施されている。三方断層に沿う低断層崖下に破砕帯が認められるが、この西側を並走する断層もボーリングで推定されている。これらのボーリングコア試料を入手・分析し、地層対比や年代解明に向けての調査を実施した。それらの成果の一部を学会発表した(岡田ほか、2009)が、分析はなお進行中である。

### 4. 若狭町鳥浜(生倉)で実施したボーリングコア解析

若狭町鳥浜(生倉)の若狭一敦賀高速自動車道 PA 予定地で実施したボーリング(MK09)地点は、寛文地震前には三方湖底であった。地震後約 2 年を経て、浦見川の掘削工事が行われ、それ以降に水位が低下したことにより陸化し、水田化が行われた。

ボーリングは地下水の自噴なども考慮して、地上高約 3m の天板上で作業が行われ、ほぼ全層で欠損の無い長さ 60m のコア試料が採取された。コア試料は主に細礫層、砂層、粘土・シルト層、泥炭層からなる(図 1B)。この試料全層について、層相記載、測色、帯磁率測定、火山灰分析、 $^{14}\text{C}$  年代測定などを行った。本コア試料では、泥層～砂層～細礫層といった上方粗粒化のパターンが見られ、それぞれ 5～10m のユニットに区分される。

各ユニット上部の細礫層は、基質をほとんど含まない、花崗岩起源の淘汰の良い石英・長石から構成され、堆積構造はあまり見られない。ユニット中部の砂層には、級化・逆級化構造や生痕などが見られる。ユニット下部の細粒部では、シルト分が多い層が主であり、材片やビビアナイトを含み、ラミナや生痕も見られる。泥炭層は木質泥炭と泥炭質粘土とに分けられる。コア全体として材片を多く挟在し、コア径大の材(幹)や球果なども含まれる。

火山灰(テフラ)分析では、重鉍物組成や火山ガラスの形態分析、火山ガラスおよび重鉍物の屈折率測定を行い、K-Ah(鬼界アカホヤ火山灰層;深度 7.77-7.78m)、U-Ok(鬱陵隠岐火山灰層;8.60-8.65m)、AT(始良 Tn 火山灰層;19.76-19.87m)、SI(三瓶池田火山灰層;34.59-34.61m)、DSP(大山関金山火山灰層;44.13m)の 5 層のテフラを検出した。

$^{14}\text{C}$  年代測定はユニット 5 以浅の深度約 2m～38.79m 間の 17 層準で行った(図 3)。深度 28.6m 付近の有機質シルトを除いて、全て材片を抽出した試料による AMS 法測定であり、下部と上部を除いて、年代値相互間に逆転はみられない。SI 上位の深度 34.44m で  $45,150 \pm 650$  yBP (Libby 値)、SI 直下の深度 34.635m で  $50,840 \pm 1,300$  yBP、深度 36.265m で  $49,860 \pm 1,080$  yBP の年代値が得られているが、深度 38.79m の試料は測定限界(>53,340 yBP)を超えた。テフラ層序に基づく堆積速度からは、深度 36m 付近で約 5 万年前と推定される。最上部の細礫層を挟んで、上下で年代値がわずかに逆転しているが、その原因については考察中である。

## 5. 鳥浜と三方湖湖底で実施されたボーリングコア解析

MK09 ボーリング地点の約 50m 南東において、NEXCO 中日本が全長 100m のコアを採取していることが判明した。そこで、このコア (NEXCO コア) についても層相の観察とテフラ分析を行った。このコアの層相や層序は MK09 コアとよく似ており、U-Ok (深度 7.85-7.88m)、AT (19.2-19.7m) の 2 層が上部に、K-Tz (鬼界葛原火山灰層; 63.91-63.96m) が中下部に認められ、計 3 層のテフラが認定された。これら 2 つのボーリングによれば、三方湖東岸部での過去約 10 万年間の堆積速度は約 0.7m/千年と求められる。

三方湖の中央部で行われた MK コアにも、何層かの広域テフラが認められている (図 4)。細粒の粘土層と粗粒の砂層・砂礫層が互層しており、竹村ほか (1994) は気候変動に伴う水位変化や堆積供給量の変化が反映されているとみなした。

今回調査した MK09 コアと NEXCO コアは三方湖東岸部にあり、山地西麓近くに位置し、堆積物の供給源に近い場所にある。MK コアでは K-Ah を含む深さ 10m 以浅のコアに粗粒物質は認められないが、MK09 コアと NEXCO コアには明瞭な粗粒物質が認められ、その堆積年代は極めて新しい歴史年代 (数百年前) を示唆している。寛文地震が 1662 年に発生しているので、これ以降に多量の粗粒物質が供給されたことは確かである。三方湖中央部の湖底と東岸部での対比によって、湖岸近くでは粗粒物質の供給が増えたことが示されたが、これは三方断層帯以東の断層崖が隆起したり、強い震動で花崗岩山地に崩壊が多発したりした可能性が高いことを示唆する。

これら 3 本の深いボーリングによって、三方湖を東西方向に横切る模式的な柱状図の断面が作成された (図 4)。この図では MK コアと MK09 コアの間を短縮しているが、実距離は 1.5km あり、MK09 コアと NEXCO コアは近接している。3 つの柱状図を比較すると、深度 15m 付近まではほとんど深さに年代の差は認められないが、AT 層準以深になると、同じテフラの層準が MK コアの方が MK09・NEXCO コアより深くなる。

一般的な傾向として三方五湖では、西側ないし北西側へ傾動低下する地殻運動が第四紀後期を通して継続している (岡田、1984、2004)。一方、MK コアと MK09・NEXCO コアの間には、日向断層の南方延長部が通過するとも考えられ、この伏在 (潜在) 断層による上下変位の可能性も想定される。現段階では、三方湖を縦断する深いボーリング数は 2・3 本と限定されており、地下構造探査も実施されていないので、上記のいずれが正しいかを断定することは困難である。したがって、このような地殻運動の更なる考察は残された課題として、将来の調査研究に期待したい。

## 6. 三方湖のボーリングコアからみたイベント解読

コアの層相変化を詳しく記載・観察すると、各ユニットは上方へ粗粒化するが、その細礫層の直上で急激に細粒化して泥層に変わる場合も多い。MK09 コアでは、全長 60m のコアに 8 ユニットが認められる。こうしたユニットがほぼ等間隔で発生していることは、気候変化や海水準変動が影響した可能性より、地殻変動 (特に断層活動) の介入が大きいと推察される。急激な層相変化は、1) 粗粒層から細粒層への変化、2) 細粒層から粗粒層への変化、の 2 ケースが認められる。

1) の場合、細礫層から泥層への変化は湖水位が短期間に相対的に上昇したと考えられ、各ユ

ニットの下限に認められる。1662年寛文地震時には、主として日向断層の東側が約3m隆起した(岡田、1984)ので、気山川の出口が塞がれて、上流側に当たる三方湖・水月湖・菅湖の水位が上昇し、この低地域では相対的な沈降が生じた。この地震後には人工的な排水工事が行われたが、自然状態ではこうした沈降は長く続いて細粒層が堆積を続ける。石村ほか(2009)ではMK09コアに各ユニットが約1万年間隔で発達することから、三方湖周辺の地殻変動による沈降イベントを反映しているとみなした。

2)の場合、細粒層から粗粒細礫層への変化は、三方断層崖の急激な隆起や崩壊発生に伴う供給量の増加が考えられ、ユニット1・3・5・7などを代表に各ユニットの中間に認められる。ユニット1の細礫層はC<sup>14</sup>年代値からみて、1662年寛文地震以後に急速に堆積したことは確実である。

ユニット4・5・8の事例にみられるように、細粒層から粗粒層へ徐々に変化する場合もある。このような層相変化に対して三方断層帯の活動がどのように関与しているか、まだ十分な考察・検証が行われていない。

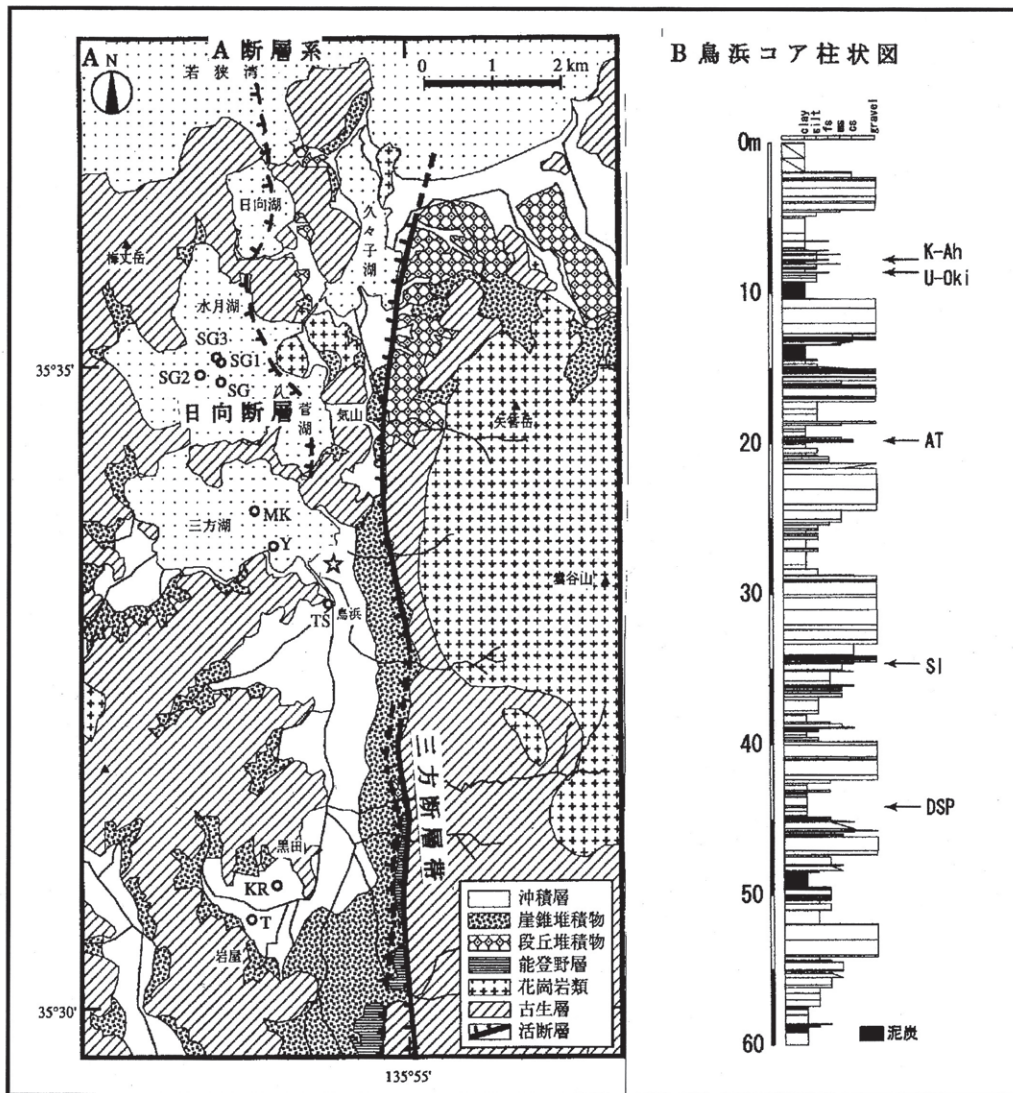


図1 三方低地周辺の地質図及び調査地点(A;竹村ほか、1994に追記)と鳥浜ボーリング柱状図(岡田ほか、2009)。A図の○印は水月湖(SG)・三方湖(MK、Y)・黒田(KR、T)の既往の主な掘削地点を示す。鳥浜60mボーリングは☆印の地点で実施した。

## 7. 三方低地の平均堆積速度と三方断層帯の活動史

三方断層帯の最新活動である寛文地震時には、三方断層から北西へ派生するように分布している日向断層(とその北方延長部の A 断層)が大きな上下変位を起こしたことは確実である(金田ほか、2000;岡田・東郷編、2000;岡田、2004)。この地震時に、三方断層の北端部では約40cmの東側隆起が生じた(小松原ほか、1999)が、三方断層中部がどの程度で変位したか、あるいは大きな変動は生じなかったのか、まだ解明されていない。三方断層中部での活動履歴や1回の変位量についても、不明なままである。

段丘面やその堆積物を指標とした、三方断層の上下変位量や平均上下変位速度はすでに求められてきた(岡田、1984、2004;水野ほか、1999;中江ほか、2002 ほか)が、上に記した事柄の解明に努力する必要がある。

## 8. 三方湖ボーリング調査のまとめ

MK09 コアでは、約4.9万年前に降灰したとされるSIが深度34.61mに挟まれており、0.7m/千年の平均堆積速度が推定される。この値は、三方湖中央付近における0.8~0.9m/千年(竹村ほか、1994)の平均堆積速度に比べてやや小さい。コア堆積物には、SIより上位で上方粗粒化パターンを示す5つの堆積ユニットが確認でき、粗粒な砂礫層の直上で細粒な泥層に急速に変化する(図1B、図3)。1万年程度の間隔で、この堆積パターンが繰り返されてきたことが判る。こうした繰り返しは、後期更新世の気候変動パターンとの比較検討がさらに必要ではあるが、三方断層帯の大地震時における西側低下の活断層運動を反映している可能性が高い。

しかし、各ユニット内に認められる細粒層から粗粒層への急激な層相変化も三方断層の活動の可能性を示唆する。このような場合も考慮すると、三方断層の活動間隔は約1万年よりかなり短くなる。これらの事柄の解釈はボーリング資料・試料をなお分析中であり、さらに検討を要するので、現段階では断定を避ける。

## 9. 残された課題

現在、中日本高速道路(株)は舞鶴若狭高速自動車道を建設中であり、三遠三角地内の低地部で数多くのボーリングが実施されている。若狭町気山(中山)では、自動車道が三方断層を斜断する予定のため、その付近で群列状にボーリングが実施されている。低断層崖を伴う場所に破碎帯を随伴する三方断層が認められているが、この西側を並走する伏在活断層もボーリング調査で推定されているので、これらコア試料の分析を現在進めており、三方断層帯・熊川断層帯の活動史や三遠三角地の形成過程について、総合的に究明して行く予定である。今回の調査と既往の成果、高速道沿いに行われてきたボーリング成果などを総合的に考察し、三方五湖低地における第四紀層の縦断面や横断面を作成する計画で調査研究を進めている。また、東西方向での三方断層帯の断面形状や上下変位速度についてもさらに詳しく解明する予定である。

今回のボーリング試料の詳細な各種分析は中部-近畿日本の第四紀堆積物の対比-比較においても、基準的な役割を担う成果になると考えられる。

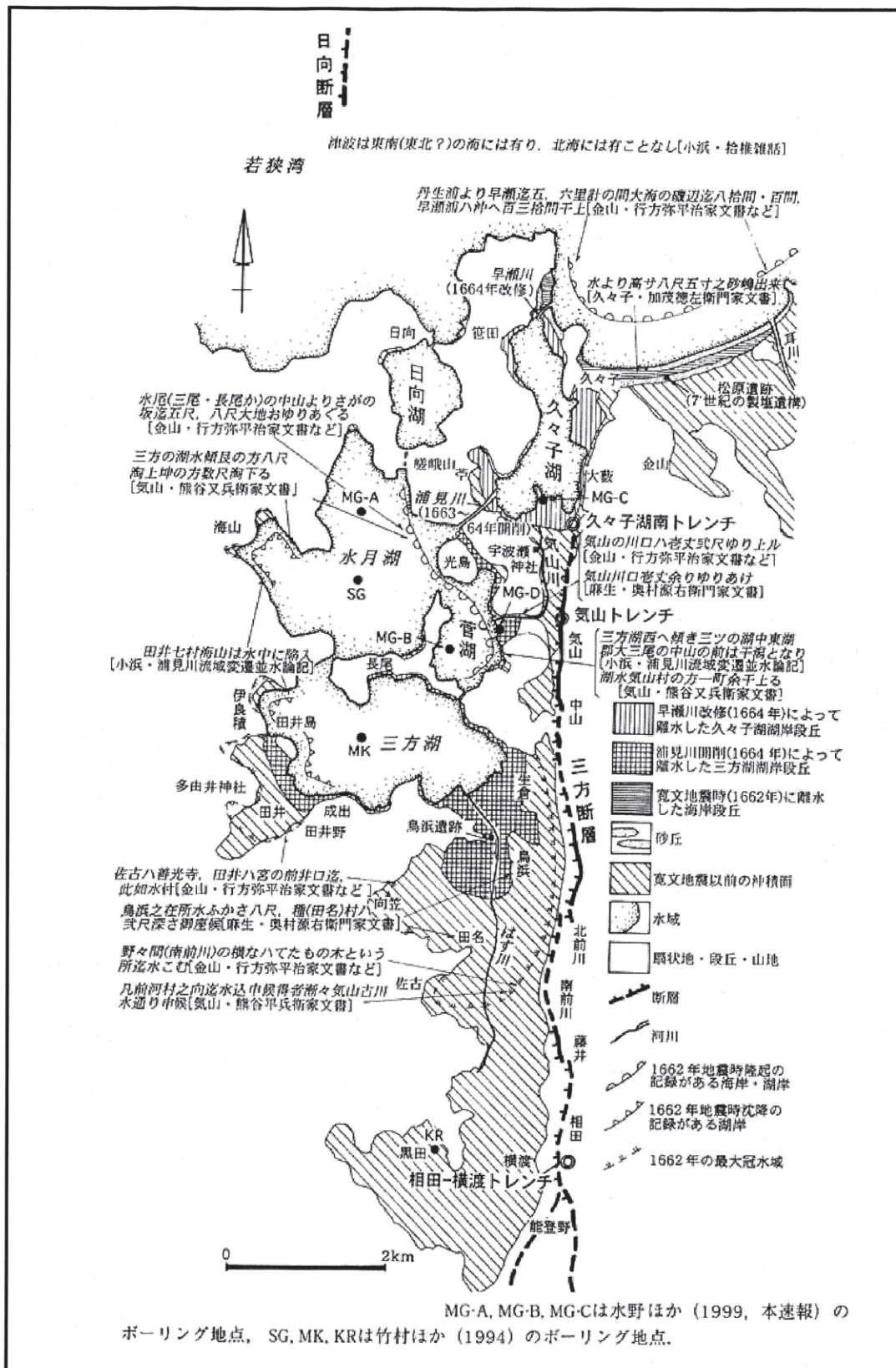


図2 寛文地震に伴う地変と地形変化(小松原ほか、1999)。

三方断層は黒実線と破線で示され、西側(低下側)にケバがついている。日向断層は水月湖・菅湖東側の撓曲線で示される。久々子以東の海岸は隆起し、水月湖・三方湖の西側は沈降した。早瀬川以東の若狭湾岸と久々子湖周辺は寛文地震後に離水し、水月湖・菅湖の東側と三方湖南部は浦見川開削後に陸化した。主な地形変化が短文で記載されている。

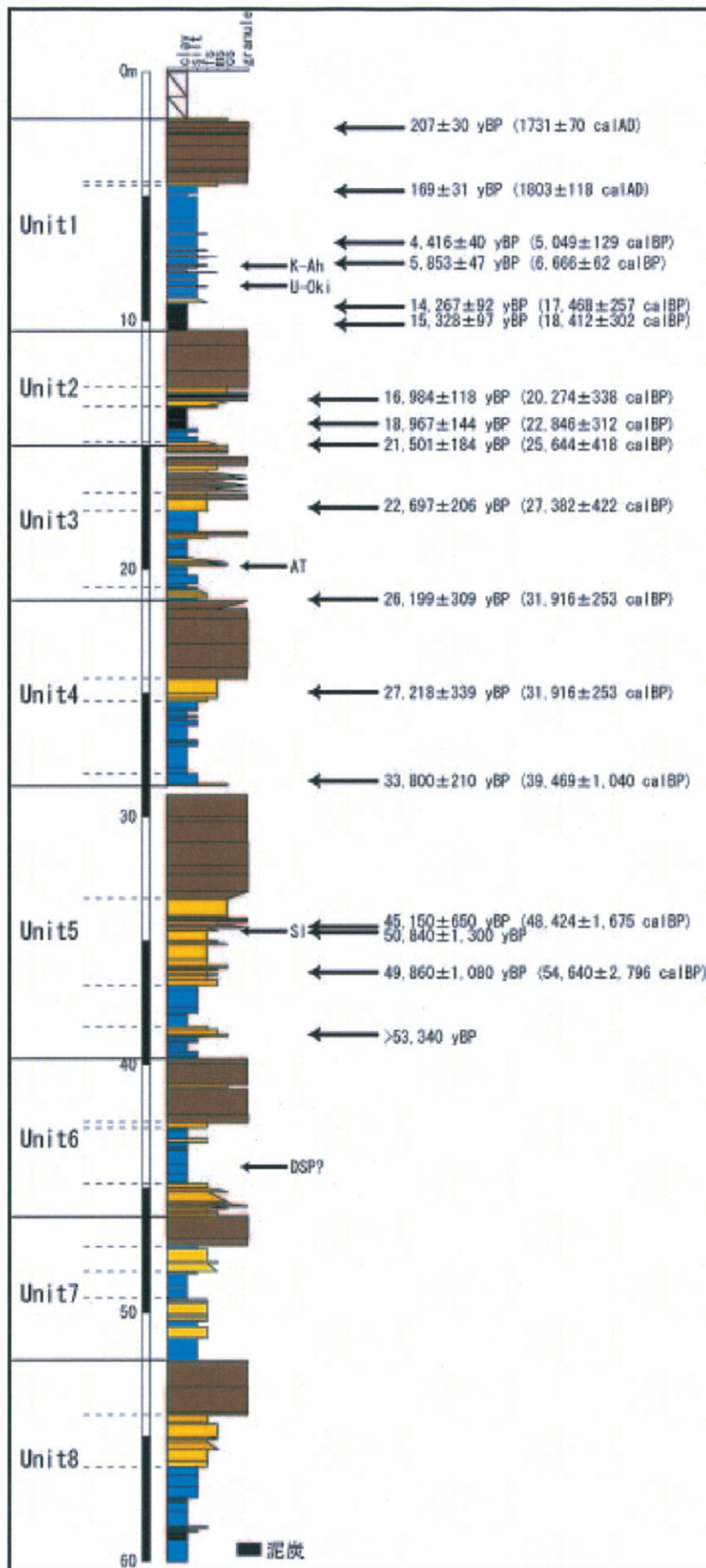


図3 鳥浜 60m ボーリング (MK09) コアの柱状図 (石村ほか, 2009)。

柱状図の左側にユニット区分、右側に層相分類、広域火山灰層、C-14 年代測定値の順に記載。

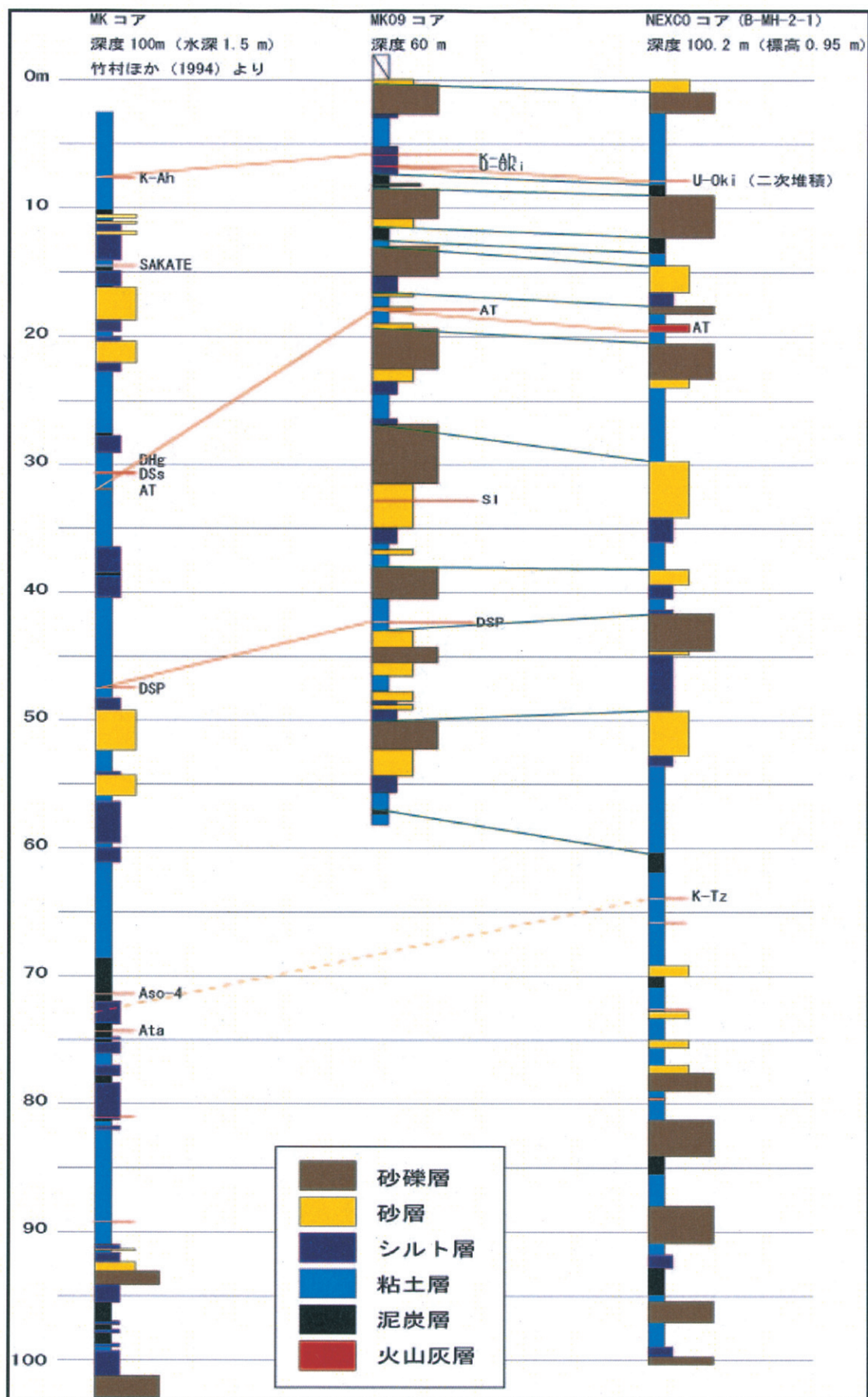


図4 三方湖で実施された深層ボーリングの対比図(石村ほか、2009)。左側:三方湖底(MK コア;竹村ほか、1994)、中央:鳥浜(MK09 コア;60m)、右側:鳥浜(NEXCO コア;100m)。



## 主な引用文献

- 福沢仁之・小泉 格・岡村 真・安田喜憲(1994): 福井県水月湖の完新世堆積物に記録された歴史時代の地震・洪水・人間活動(イベント)、地学雑誌、103, pp.127-139
- 福沢仁之・小泉 格・岡村 真・安田喜憲(1995): 水月湖の細粒堆積物に認められる過去 2,000 年間の風成塵・海水準・降水変動の記録、地学雑誌、104, pp.69-91
- 福沢仁之・竹村恵二・林田 明・北川浩之・安田喜憲(1996): 年縞湖沼堆積物から復元された三方湖とその周辺の最終氷期最寒冷期の古環境変動、地形、17, pp.323-341
- 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
- 石村大輔・竹村恵二・岡田篤正・加藤茂弘(2009): 三方湖周辺の地下地質に基づく過去 10 年間の堆積環境と三方断層帯の活動について、日本活断層 2009 年大会 Poster 発表(P-08)、東洋大学、日本活断層学会演要旨集、2, pp.54-55
- 金田平太郎・岡田篤正・小松原琢(2000): 若狭湾岸・三方五湖付近における 1662 年寛文地震時の地殻変動、月刊地球、号外 28, pp.119-126
- 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
- 小松原琢・水野清秀・寒川 旭・山崎晴雄(1999): 三方断層のトレンチ調査と寛文地震時の地殻変動に関する検討、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)、pp.187-195
- 小松原琢・杉山雄一・水野清秀(2000): 若狭湾中部、三方断層および野坂断層北方延長部の音波探査、地質調査所速報、no.EQ/00/2(平成 11 年度活断層・古地震研究調査概要報告書)、pp.89-118
- 水野清秀・小松原琢・山崎晴雄(1999): 音波探査及びボーリングによる三方五湖低地帯の地下構造調査、地質調査所速報、no.EQ/00/2(平成 11 年度活断層・古地震研究調査概要報告書)、pp.187-195
- 中江 訓・小松原琢・内藤一樹(2002): 西津地域の地質、地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅)、産業技術総合研究所地質調査総合センター、90p
- 岡田篤正(1984): 三方五湖低地の形成過程と地殻運動、鳥浜貝塚—縄文前期を主とする低湿地遺跡の調査 4—、9—42、若狭歴史民俗資料館、121 p
- 岡田篤正・東郷正美編(2000): 「近畿の活断層」、東京大学出版会、395pp.+付図 4 図葉
- 岡田篤正(2004): 三方断層と三方低地の地形発達、181-185、太田他編、日本の地形 6 近畿・中国・四国、東京大学出版会、383 p
- 岡田篤正・加藤茂弘・石村大輔(2009): 三方低地の地下地質に基づく三方断層帯の活動性の解明、日本第四紀学会発表、滋賀県立琵琶湖博物館、日本第四紀学会演要旨集、39, pp.10-11
- 竹村恵二・北川浩之・林田 明・安田喜憲(1994): 三方湖・水月湖・黒田低地の堆積物の層相と年代—三方低地の最終間氷期以降の堆積環境—、地学雑誌、103, pp.233-242