

# 大分県温泉調査研究会報告

第 70 号

令和元年 8 月

## 目 次

温泉治療の下肢血流への影響	前 田 豊 樹	( 1 )
豊後高田市、国東市の温泉の現況調査	大 上 和 敏 他 1 人	( 3 )
別府湾周辺の沖積層の放射性炭素( <sup>14</sup> C)年代 -大分平野における <sup>14</sup> C海洋リザーバー効果-	竹 村 恵 二 他 1 人	( 11 )
別府市の自噴温泉の現状調査	大 沢 信 二 他 3 人	( 23 )
由布岳・鶴見岳の地球化学的研究	柴 田 知 之 他 1 人	( 41 )
大分県内の火山岩類の化学組成・Sr-Nd同位体比 ( 4 ) 九重山	芳 川 雅 子 他 4 人	( 47 )
由布・鶴見火山群地下の磁化構造推定	宇津木 充	( 53 )
市民参加型温泉モニタリング体制の構築を通じた温泉地の市民科学のあり方の探求	山 田 誠 他 2 人	( 59 )
健康寿命の延伸に、高い割合で温泉入浴が寄与することの既成の統計資料を用いた解析	青 野 裕 士	( 67 )
温泉分析における知覚的試験 (臭気) と成分分析値とのデータ比較	中渡瀬 真 樹 他 2 人	( 71 )
別府温泉藻類RG92の培養条件の検討	加世田 国与士 他 1 人	( 79 )

---

# 序

(大分県温泉調査研究会発足70周年を迎えて)

太平洋戦争以前の旧憲法の下での温泉行政は、各都道府県の条例等に従ってなされ、国家レベルの法律はありませんでした。戦争終結後の昭和22（1947）年5月3日、新しい日本国憲法が施行されるに伴い、従前の都道府県令等は効力を失うこととなり、これを機に、温泉の保護とその利用の適正化に遺憾なきを期するため（厚生大臣の提案理由説明）の温泉法案が第2回国会に提出され、昭和23（1948）年7月10日に温泉法が公布され、8月9日に施行されました。これを受けて、各都道府県には温泉審議会が設置され、温泉の新規掘削の可否をはじめとする温泉行政に関わる重要事項を審議することになりました。大分県では、その年の12月24日に第1回目の温泉審議会が開かれています。

審議会における審議を適切かつ円滑に進めるには、判断の基準となる科学的根拠が求められます。ここに温泉に関する科学的資料を得るための調査機関が必要となり、大分県温泉調査研究会の設立が企図されて、昭和24（1949）年7月16日、大分県内における温泉の科学的研究をして公共の福祉の増進に寄与することを目的（会則第3条）として、本会が発足しました。すなわち、本年・令和元（2019）年は、本会の発足70周年に当たります。

本会の設立目的を達成するため、温泉の野外調査が実施され、データの分析が進められました。得られた成果は、機関紙「大分県温泉調査研究会報告」として刊行されることになりましたが、その第1号は、早くも発足1年後の昭和25（1950）年7月に、5篇の報文を収録して、刊行されています。

そうして蓄積された成果に基づき、昭和43（1968）年には、別府市の3つの源泉密集地域が特別保護地域に指定されるなど、本会の設立目的は一応の達成をみましたが、温泉の調査研究の重要性が認識され、本会の活動は継続されて、今日に至りました。この間、毎年の調査研究に加えて、県内の温泉の化学分析結果を収録した『大分県鉱泉誌1970』および『大分県鉱泉誌2006（2分冊）』の刊行、また、大分県における温泉行政の拠り所となる『大分県温泉管理基本計画』〔平成13（2001）年3月公表〕、および『おおいた温泉基本計画』〔平成28（2016）年3月公表〕の策定などに貢献しました。なお、報告第69号までの報文総数は604篇（化学分析書や集会の記録は除く）を数えます。

こうして発足70周年を迎え、ここに平成30（2018）年度に実施された調査研究の報文11篇を収録した「大分県温泉調査研究会報告 第70号」を出版することは大きな喜びです。

調査研究をご担当いただいた会員諸氏、ご支援いただいた関係行政機関並びに事務局の方々に深く感謝を申し上げますとともに、温泉の調査研究のさらなる進展と本会の持続的発展を祈念し、関係各位・諸機関の引き続いてのご協力をお願いいたします。

令和元（2019）年8月

大分県温泉調査研究会

会長 由 佐 悠 紀



# 温泉治療の下肢血流への影響

九州大学病院別府病院内科

前田 豊 樹

## 背景

温泉浴は、体温上昇効果により前身の血管拡張を来し末梢血液循環の改善効果がある。温泉入浴を定期的に施した場合に、この体温上昇効果が高いほどこの効果は顕著になると予想される。申請者の所属する当院では、通常の温泉よりも深部体温上昇効果が高い鉱泥浴を擁しており、鉱泥浴入浴では一層の末梢血液循環改善効果から動脈硬化の抑制が期待できる。

## 1. 目的

10日以上鉱泥浴入浴により、当該期間後に末梢循環に関連する血管側のパラメータの変化で、動脈硬化抑制につながる変化の有無を検討する。

方法:九州大学病院別府病院に10日以上( $43.9 \pm 21.8$ 日)入院して、平日連日鉱泥全身浴治療(1日1回、 $40^{\circ}\text{C}$ 、10分)を受けた対象者10人(男性4名、女性6名、平均年齢 $56.7 \pm 14.6$ 歳)で、同意を得た上で、入院直後と退院直前の血圧脈波検査データを比較検討した。

## 2. 結果

動脈の硬化の程度を示す CAVI と動脈の詰まりの程度を示す ABI を比較した。絶対値比較では揺らぎが大きく、差が見にくかったため、退院時/入院時の比を左右平均して、変化を t-test により比較した。

CAVI では、 $0.94 \pm 0.07$ ( $p=0.032$ )、ABI では、 $0.99 \pm 0.07$ ( $p=0.621$ ) と CAVI で有意の低下を認めた。

## 3. 結論

以上のことは、鉱泥浴入浴を習慣的に続けることが、血管の硬化を改善することにつながることを示唆していると考えられる。



# 豊後高田市、国東市の温泉の現況調査

大分大学教育学部

大 上 和 敏・中 島 美 葵

## 要旨

豊後高田市・国東市の温泉について、温泉水の泉温、主要溶存化学成分等の測定を行い、豊後高田市・国東市の温泉の現況について調査を行った。その結果、豊後高田市・国東市に湧出する温泉の多くは塩類泉であり、ナトリウム-炭酸水素型、カルシウム-硫酸型等6種類の泉質の温泉が湧出している事がわかった。泉温の経年変化については、平成10年頃より4源泉で温度低下、3源泉で温度上昇の傾向がみられた。主要溶存化学成分濃度(TDS)については、2源泉では1000mg/L以上の減少傾向がみられ、1源泉で20000mg程度の上昇傾向がみられた。

## 1. はじめに

豊後高田市および国東市は、ともに大分県北部の国東半島に位置する人口2~3万人の小都市である。豊後高田市は国東半島の北西部に位置し、周防灘に面しており、国東市は半島の東部に位置し、市域北部から東部にかけて伊予灘に面している。豊後高田市と国東市の温泉については、北岡らを中心にした研究により、[1] 国東半島の堆積地帯における基本的な地下温度は大分市における地温状態ときわめてよく似ていること。[2] 真玉町(現豊後高田市)の温泉は陰イオンでは $\text{HCO}_3^-$ 、陽イオンではNa成分が卓越し、耶馬溪地域で湧出している温泉と類似していること。[3] 国東市国見町赤根地区では、自然湧出泉・掘削泉の両者からほぼ同じ組成の $\text{Ca-SO}_4$ 型の水が流出しており、この水質はこの地域では特異的であること等が報告されている(北岡ほか、1990)。北岡らの調査以降は、本地域を対象とした全域的な温泉調査は行われていない。そこで本研究では、豊後高田市・国東市の温泉の現況を把握することを目的とし、大分県温泉調査報告書等による文献調査と、現地での調査及び温泉水の化学分析を行った。

## 2. 試料採取および測定方法

本研究において調査を行った温泉の位置を図1に示す。豊後高田には12井、国東市には5井の源泉が存在しており、現地調査を行ったところ、泉温の低下や温泉の枯渇等の理由で現在使用されていない源泉(閉止孔)が豊後高田市で5井、国東市で3井あった(図1)。本研究では、両市の温泉8井を調査対象とした(1井のみ調査をすることができなかった)(図2)。

現地で気温、水温(AS ONE、ASF-250T)、pH(HORIBA COMPACT、B-212)、電気伝導度(東亜 DKK、CM-31P)を測定した後、500mLポリエチレン製ボトルおよび、ガスバリア性に優れたニッコー製テクノボトルに温泉水試料を採取した。

温泉水の分析では、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ についてはイオンクロマトグラフィー（DIONEX 社製 ICS-1500）で、 $\text{SiO}_2$ はモリブデン酸黄色法による吸光度法でそれぞれ分析を行った。 $\text{HCO}_3^-$ は pH4.3 アルカリ度法により値を求めた。

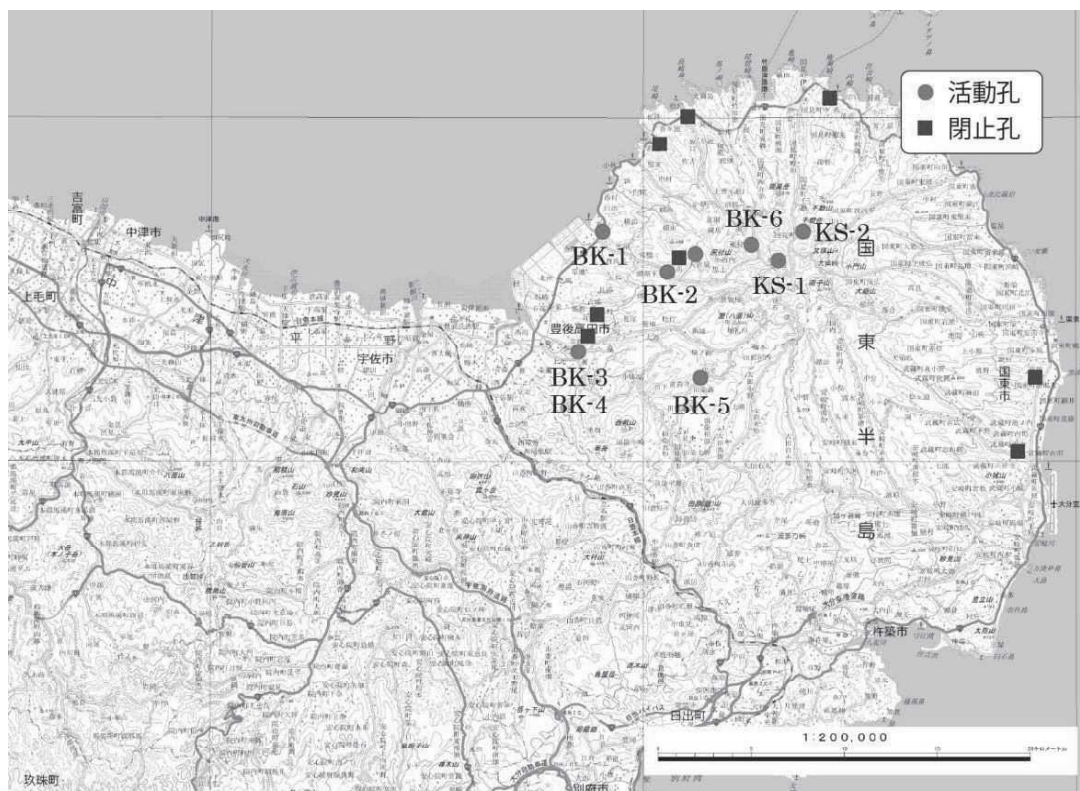


図1 調査地点の概略図（国土地理院20万分の1地形図を改変）

### 3. 結果

#### 3-1 泉温について

表1に今回調査を行った源泉の泉温を示す。豊後高田市・国東市の温泉は、掘削深度350～1200mとかなり広範囲にわたる。泉温については、8井中、2井が高温泉、4井が温泉、2井が低温泉に分類される。本調査において最も泉温が高かったのはBK-6の源泉で56.5℃、一方最も低いものはBK-4の源泉で25.1℃であった。豊後高田市・宇佐市の温泉の平均泉温は38.5℃であり、宇佐市よりも4℃程度低く、中津市とほぼ同じであった。

掘削深度と泉温を表1に、掘削深度と泉温の関係を図2に示す。一般的に非火山性温泉では、地温勾配により、掘削深度が大きくなるごとに泉温が上昇していくといった比例関係がみられる。本調査域の温泉については、最も掘削深度の大きいBK-6が掘削深度1200mで56.5℃であり、掘削深度と泉温との相関係数を計算したところ $r^2=0.752$ であることより、両者の比例関係を伺うことができる。

表 1 掘削深度と泉温

No.	掘削深度	泉温
	[m]	[°C]
BK-1	500	38.4
BK-2	350	37.4
BK-3	600	30.9
BK-4	-	25.1
BK-5	700	42.7
BK-6	1200	56.5
KS-1	880	37.2
KS-2	-	39.6

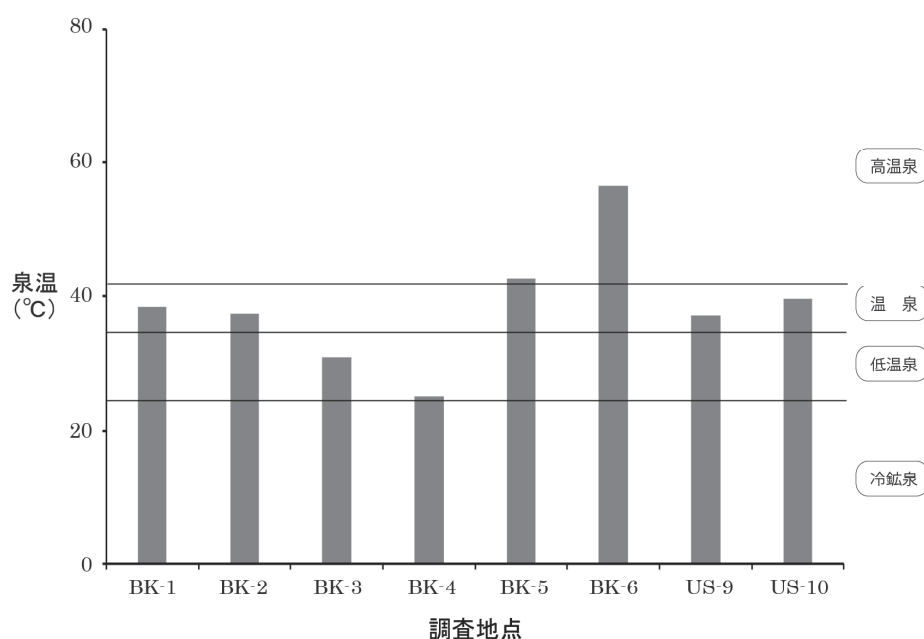


図 2 各源泉ごとの泉温

### 3-2 温泉水の化学成分について

温泉水の化学分析結果を pH の測定値とともに表 2 に示す。液性については、BK-6 と KS-2 のみ弱アルカリ性温泉で、そのほかの温泉はすべて中性泉であった。温泉の主要化学成分の総量値 (TDS) では、BK-5 以外はすべて 1000mg/L 以上の塩類泉であった。中でも BK-1 は TDS40000mg/L と非常に高い値であった (図 3)。

この地域の温泉水の化学組成は、非常に多種類に及んでおり、BK-1 はナトリウム・マグネシウム-塩化物泉、BK-2 はナトリウム-炭酸水素・塩化物泉、BK-3 はマグネシウム・ナトリウム-炭酸水素塩泉、BK-4 はマグネシウム・ナトリウム・カルシウム-炭酸水素塩泉、BK-6 はカルシウム・ナトリウム-硫酸塩泉、KS-1 と KS-2 はカルシウム-硫酸塩泉であった (図 4)。

県北地域の温泉水の全般的な特徴として、陰イオンで  $\text{HCO}_3^-$  に卓越し、 $\text{SO}_4^{2-}$  をほとんど含まない温泉水が多いこと、陽イオンでは  $\text{Na}^+$  成分に卓越しているとされている (北岡



ほか、1989)。2018年に調査を行った宇佐市の温泉水についても、高濃度の塩化物イオンを含むものや、マグネシウムイオンに富むものなど様々な水質がみられ、今回調査を行った豊後高田市の温泉水は宇佐市以上に様々な化学組成の温泉水が湧出していた。国東市の温泉の特徴としては、国東半島に湧出する温泉水の中で、特異的にカルシウム-硫酸型の温泉が湧出しているとされており（北岡ほか、1991）、今回調査を行ったKS-1およびKS-2にもその特徴がみられた。

表2 温泉水の分析結果

No.	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	[mg/L]				総塩分量
						Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	
BK-1	6.4	9817	456	1590	1570	22000	2930	1640	11.3	40000
BK-2	6.8	402	39.5	35.0	48.0	168	106	946	116	1860
BK-3	6.5	431	58.0	350	174	274	10.0	2870	115	4280
BK-4	6.9	233	36.0	178	136	140	15.0	1790	80.3	2610
BK-5	6.5	33.0	5.7	27.0	39.1	50.2	2.4	321	178	656
BK-6	7.7	149	7.5	7.5	203	11.5	635	61.6	13.5	1090
KS-1	7.3	56.5	7.0	4.5	319	8.0	640	51.0	50.2	1140
KS-2	7.9	39.5	4.5	6.5	293	15.0	685	67.7	47.5	1160

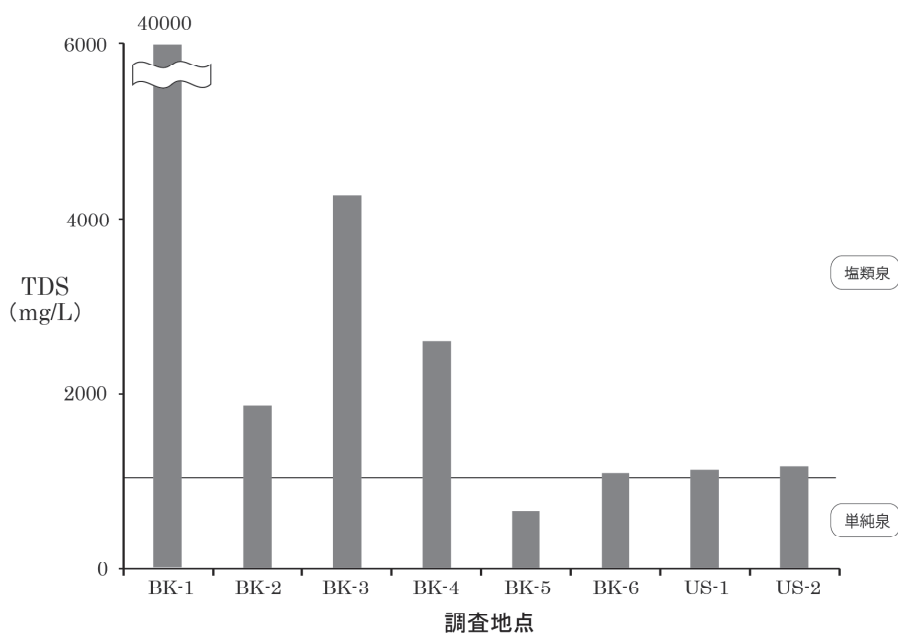


図3 各源泉ごとの総塩分の総量値（TDS）

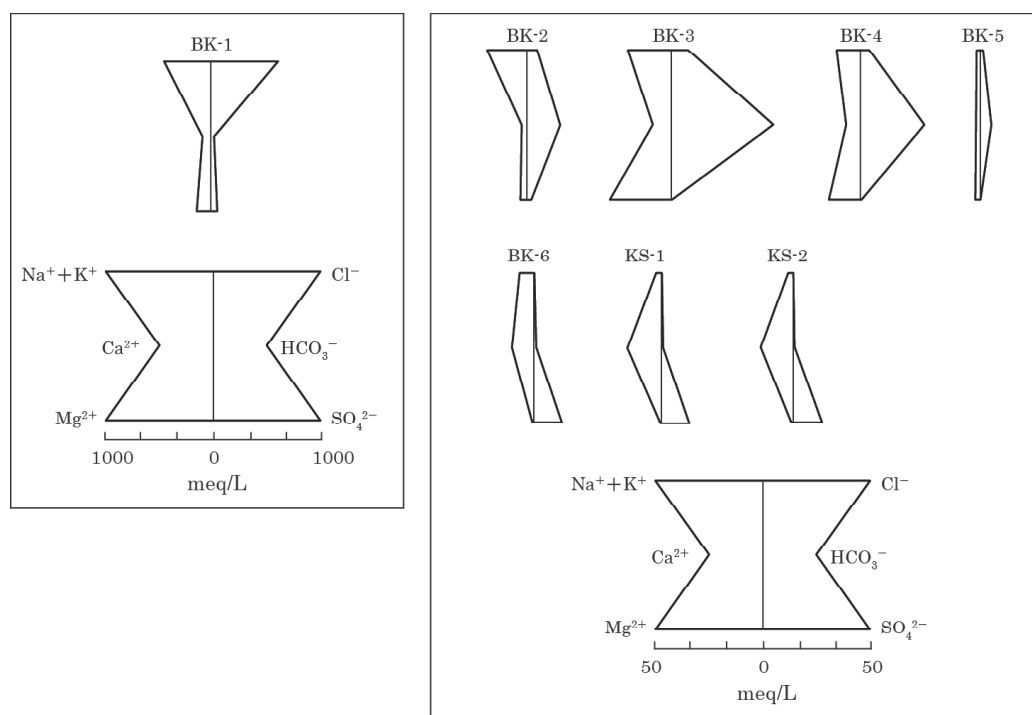


図4 各温泉水の化学組成

### 3-3 温泉水の泉温および化学成分濃度の変化について

今回の分析結果と大分県鉱泉誌に掲載されているデータをもとに、各源泉ごとの泉温およびTDSの経年変化を図5および図6にそれぞれ示す。

図5より、BK-4、BK-5、KS-2の3井で泉温が5℃以上上昇しており、KS-1で5℃以上下降しているが、豊後高田市および国東市の温泉の泉温は、全般的に比較的安定しているといえる。

TDSについては、BK-2、KS-1、KS-2の3源泉については、2000年頃から大きな変化はみられなかった。一方で、TDS値が大きく変化していた温泉は、BK-1、BK-3、BK-4、BK-5の5源泉であった。中でもBK-1の値は、炭酸水素イオン以外の濃度が顕著に高くなっているため、2013年に比べTDS値が2倍近く増加していた。BK-4およびBK-5については、ともにTDS値が500mg/L以上減少しており、BK-3については2012年に値が半減していたが、今回の調査では2002年の調査時とほぼ同定まで回復していた。

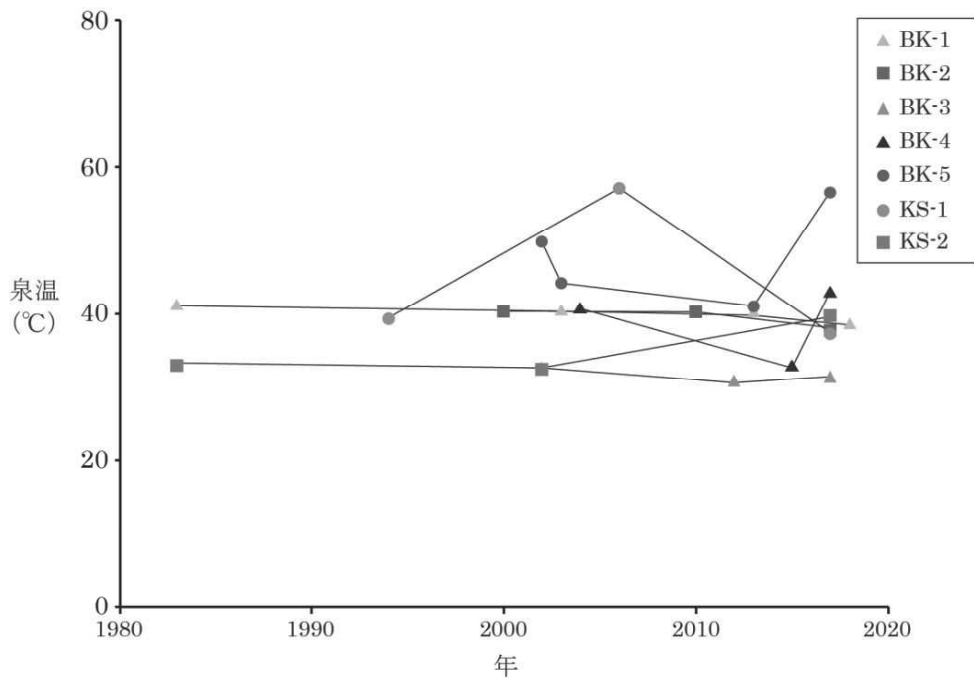


図5 各調査地点における泉温の変化

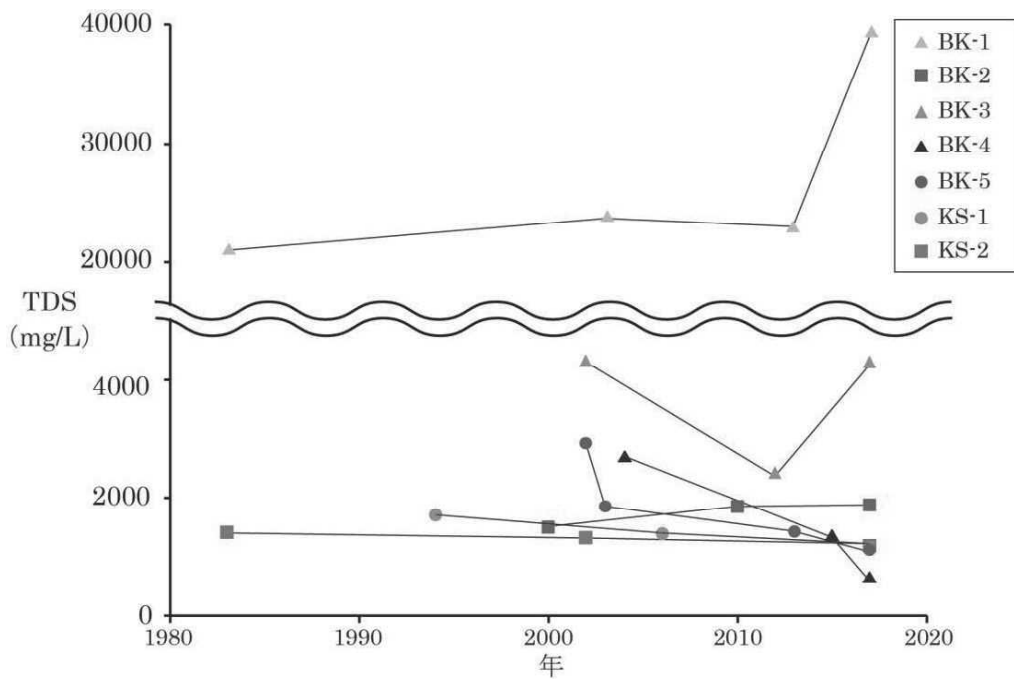


図6 各調査地点における主要溶存化学成分濃度の総量値 (TDS) の変化

#### 4. まとめ

豊後高田市および国東市の温泉について、大分県鉱泉誌を中心とした文献調査および現地調査を行い、温泉水の泉温、主要溶存化学成分等について検討をおこなった。その結果、次のことが明らかとなった。(1) 大分県鉱泉誌に記載されている泉源 17 か所のうち、8 井が現在使用されていない状況であった。(2) 調査を行った 8 源泉の平均泉温は、38.5℃であり、その内わけは低温泉が 2 井、温泉（狭義）が 4 井、高温泉が 2 井であった。(3) 泉質については、塩類井が 7 井、単純泉が 1 井であり、塩類泉の化学組成は、ナトリウム・マグネシウム-塩化物泉、ナトリウム-炭酸水素・塩化物泉、マグネシウム・ナトリウム-炭酸水素塩泉、マグネシウム・ナトリウム・カルシウム-炭酸水素塩泉、カルシウム・ナトリウム-硫酸塩泉、カルシウム-硫酸塩泉の 6 種類であった。(4) 泉温および TDS の経年変化については、泉温が 5℃以上上昇している源泉が 3 井、5℃以上下降している源泉が 2 井あり、TDS については顕著な変化がみられた源泉が 5 井あった。

#### 参考文献

大分県鉱泉誌 第 2 集 (2006) 大分県温泉調査研究会.

大分県温泉調査報告 温泉分析書 (2017)、大分県自然保護推進室

北岡豪一、川野田實夫、葛城啓子、大石郁朗、由佐悠紀、県北地域（下毛郡、宇佐郡、宇佐市）の温泉調査、大分県温泉調査研究会報告、40、1-14.

北岡豪一、由佐悠紀、川野田實夫、国東半島の温泉調査、大分県温泉調査研究会報告、41、1-6.



# 別府湾周辺の沖積層の放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代 - 大分平野における $^{14}\text{C}$ 海洋リザーバー効果 -

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設  
中西利典・竹村恵二

大分平野西部に伏在する沖積層において堆積相解析を実施して、下位から順に、網状河川、エスチュアリー、プロデルタ、デルタフロント、氾濫原の堆積環境を認定した。また、完新世初期～中期に形成されたエスチュアリー～デルタフロント堆積物において、同一層準から産出した植物片と貝化石の放射性炭素年代値を比較することによって、 $210\pm 70\sim 580\pm 70$ 年（13組の平均  $370\pm 130$ 年）の海洋リザーバー年代値を求めた。

## 1. はじめに

海洋表層水に由来する放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代値は大気起源の値よりも400年程度古く、その相違は海洋水の循環や陸水との混合様式などによって地域間で一定ではない。この差異は海洋リザーバー効果と呼ばれ、海水起源の炭素から生成された貝やウニ、有孔虫などの炭酸塩試料の $^{14}\text{C}$ 年代値を暦年に較正する際の障害となる。この問題を解決するために、原子核実験以前の生成年代が判明している海洋試料の $^{14}\text{C}$ 濃度が世界各地において1300地点以上で検討されてきた (Calib Marine Reservoir Correction Database)。大分平野周辺では、別府湾南西部におけるウイグルマッチング法と堆積速度分布を基にしたモデル計算 (Kuwae et al., 2013) や大分平野西部の完新統に含まれる植物片と貝化石の年代値の差異 (Nakanishi et al., 2017; 中西ほか, 2019) により海洋リザーバー効果が検討され、完新統下部では詳しい検討がなされていなかった。今回は、文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科 (2017) およびNakanishi et al. (2017) で検討されたボーリングコアの解析結果を概説した後、海水準上昇期の堆積物において新たに海洋リザーバー効果を検知して追加することで、大分平野周辺の同効果の変化について報告する。

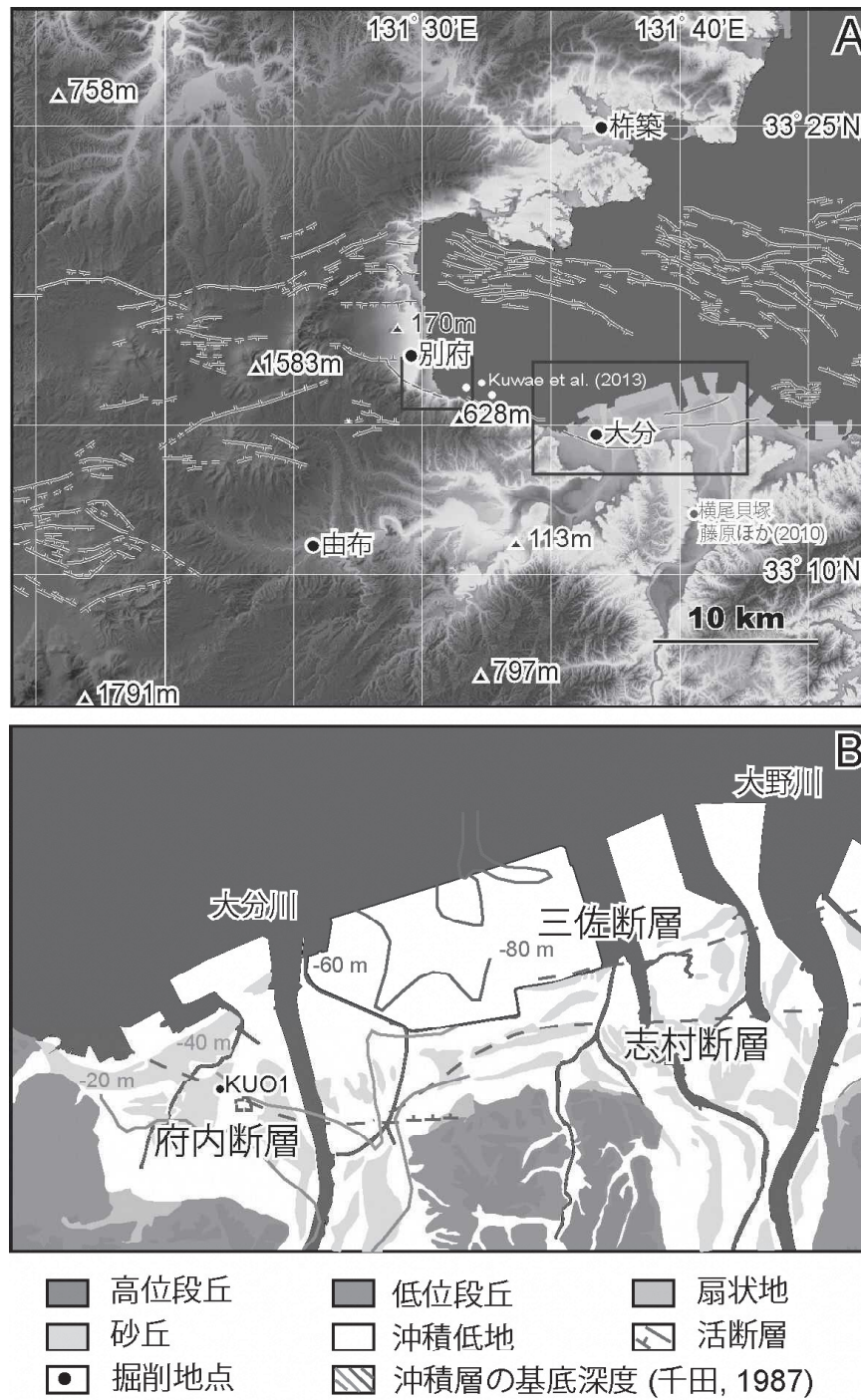


図 1 調査地域の地形と活断層 (文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科, 2017 および Nakanishi et al., 2017 を改変). A: 別府-大分地域の標高段彩図と活断層 (地震調査研究推進本部, 2005). B: 大分平野の地形分類図と活断層. 地形分類は国土地理院 (2011), 活断層の分布は岡田ほか (2001) および地震調査推進本部 (2005) による.

## 2. 分析方法

大分平野北西部の大分市中島西地区 (33°14'33.9"N, 131°36'26.6"E, 標高+2.38 m) においてKUO-1コアを掘削して採取した (図1) . この掘削地点は, A級の活動度を持つ正断層である府内断層 (千田, 1987 ; 千田ほか, 2003) の沈降側にあたり, 西側の砂丘と東側の沖積低地の境界部に位置している (国土地理院, 2010) . 同コアを半裁した後, 岩相, その境界の特徴, 堆積構造, 粒度, その支持様式, 色調, 植物片と貝殻片の含有度, 貝種, 軟X線写真, 初磁化率値及び<sup>14</sup>C年代値を検討した.

<sup>14</sup>C年代測定に用いた試料は, 蒸留水と超音波洗浄機で丁寧に洗った後, 38個の植物片と18個の貝化石に分けて以下の手順で処理した. 植物片については一年毎に更新される葉や小枝などの中で保存状態のよいものを優先的に選定した. 一規定の塩酸および水酸化ナトリウム水溶液によって酸—アルカリ—酸の順で60°Cのヒーター内で溶出分がなくなるまで繰り返し反応させて表面の汚染を除去した. 一方, 貝化石については周辺の層準で特徴的に産出する優占種の中から合弁や薄くて保存状態の良い個体を選定して, 濃度のうすい塩酸と過酸化水素の水溶液によって重さが80%程度になるまで反応させて表面の汚染を除去した. 化学処理が終わった試料は韓国地質資源研究院 (KIGAM) の元素分析計によって燃焼させて, 自動還元処理装置 (Hong et al., 2010a) を用いて二酸化炭素を取り出してグラファイトを精製した. アメリカ国立標準技術研究所のシュウ酸OX II と国際原子力機構の標準試料 (C1, C7, C8) , 阿蘇4火砕流の埋没材も同様に処理してグラファイトを精製した. これらの炭素同位体比をKIGAMの加速器質量分析 (AMS) システム (Hong et al., 2010b) を用いて測定して年代値を算出した. その際の同位体分別補正にはAMSで測定された $\delta^{13}\text{C}$ 値を用いた. 植物片の年代値はCalib7.1 (Stuiver & Reimer, 1993)とIntCal13 (Reimer et al., 2013)を用いて暦年較正された.



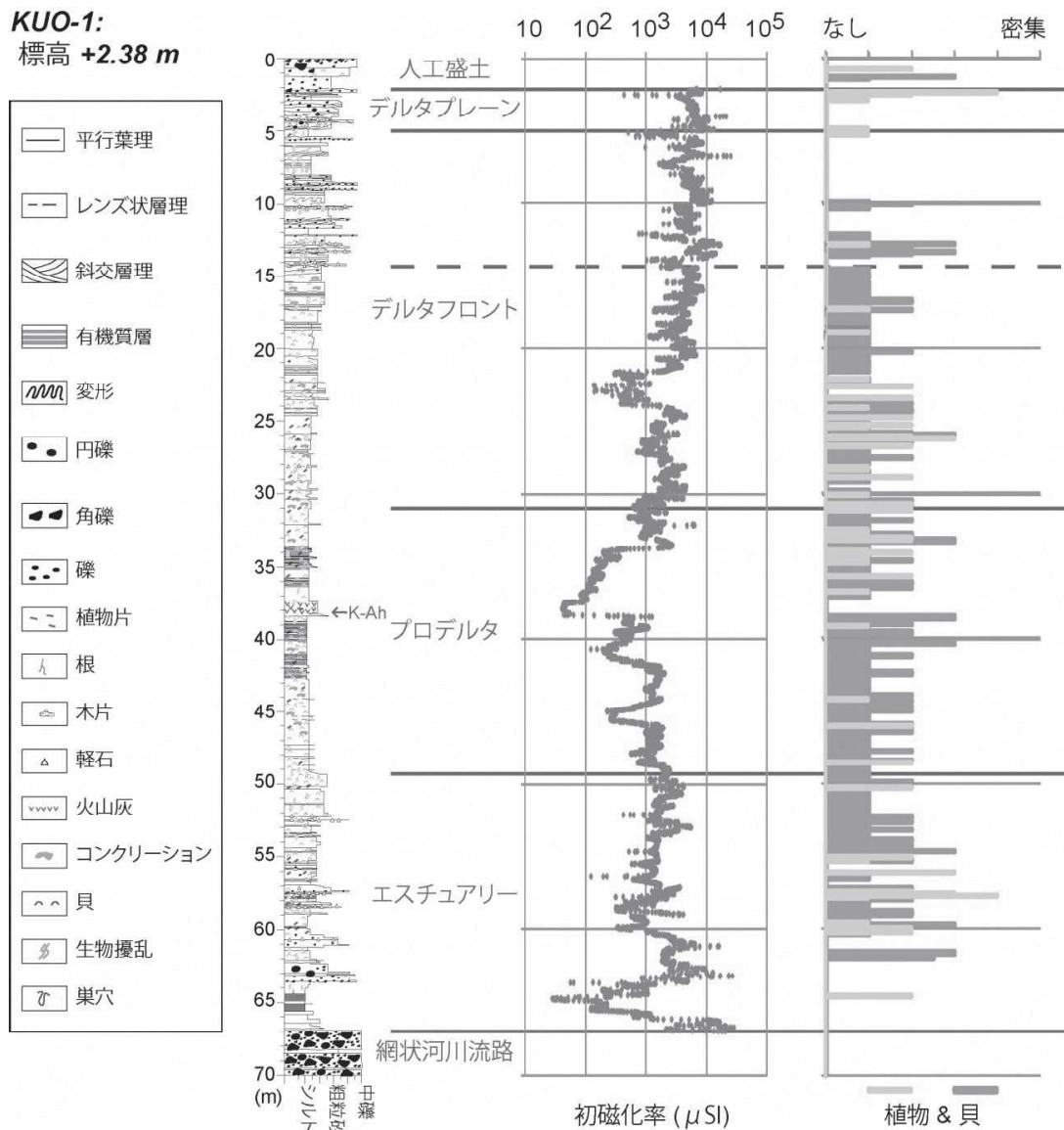


図2 KUO-1 コアの堆積柱状図と初磁化率，植物と貝の含有度．Nakanishi et al. (2017) を改変した．K-Ah は鬼界アカホヤ火山灰を示す．

### 3. 結果

KUO-1 コアの観察及び貝化石の群集組成解析の結果を基にして，下位から网状河川流路，エスチュアリー，プロデルタ，デルタフロント，デルタプレーン，人工盛土の堆積物を認定した (Nakanishi et al., 2017) . 同コアの堆積柱状図と初磁化率値，植物と貝の

含有度を図2に、堆積曲線および貝と植物の<sup>14</sup>C年代値の差異を図3にそれぞれ示す。各堆積物の特徴と堆積環境を解釈した根拠、<sup>14</sup>C年代値を以下に記載する。

#### 網状河川堆積物（深度 66.95～70.00 m）

層厚30～120 cmの粒子支持礫層と層厚20～30 cmの基質支持礫層の互層からなる。最大礫径は18 cmであり、垂角～垂円礫が主体で、それらの中粒～極粗粒砂が充填する。<sup>14</sup>C年代測定が可能な試料は確認されなかったが、掘削地点周辺の既存土質柱状図（千田，1987）を加味すると最終氷期最盛期までに形成された掃流が卓越する網状河川の流路堆積物（Miall, 1992）であると考えられる。

#### エスチュアリー堆積物（深度49.08～66.95 m）

砂層と泥層、礫層の互層から構成される。植物片や貝化石、巣穴が頻繁に観察される。礫層や砂層から泥層へと上方に向かって細粒化する場合が多く、これらの基底付近には軽石の濃集層がみられる場合がある。深度64.32～64.43 mには植物根が、深度64.64～65.70 mには暗色の有機質泥層がそれぞれ認められる。ユウシオガイ、シオフキ、ハマグリ、イボウミニナ、ウミニナ、ヘナタリガイ、アラムシロガイなどの潮間帯を主な生息場とする二枚貝および巻貝が含まれる。最下部では陸上や氾濫原の環境を強く示唆する植物根や有機質泥層がみられるが、大半の層準で潮間帯種群の貝化石や巣穴などの生物擾乱痕がみられるので、海水準の上昇に伴って沿岸域で形成されたエスチュアリー性の堆積物であると考えられる。深度50.17～66.94 mで採取した15個の植物片は9200～10490 yr BP、深度49.35～61.72 mで採取した8個の貝化石は9460～10570 yr BPの<sup>14</sup>C年代値をそれぞれ示す。

#### プロデルタ堆積物（深度31.00～49.08 m）

泥層と砂層の互層によって構成される。粒度の変化が不明確なほぼ均質な泥層が主体

で、部分的に平行葉理がみられる。巢穴やコンクリーションが部分的に観察される。深度37.40～38.41 mには白色の極細粒～中粒砂層がみられ、極細粒砂はバブルウォール型の火山ガラスからなる。千田（1987）も大分平野の地下において同様の火山灰層を報告しており、それらは7300 cal BPの鬼界アカホヤ火山灰（町田・新井，2003）に対比されている。イセシラガイやヒメムシロガイからなる潮下帯種群およびシヅクガイやオカメブンブクなどの内湾潮下帯種群が認められる。この層準は細粒な泥層で主に構成され、潮下帯および内湾潮下帯に生息する二枚貝や棘皮動物の化石群集が認められるので、河川からの掃流物質が到達しづらいプロデルタの堆積物であると考えられる。深度37.40～38.41 mの極細粒～中粒砂層は上下の層準よりも顕著に粗粒であり、平穏な内湾底においても一時的に運搬力が大きい堆積環境に置かれたことを示唆しており、鬼界アカホヤ火山灰を噴出した巨大カルデラ噴火に伴う津波（Maeno et al., 2006 ; Maeno & Imamura, 2007）によって形成されたと推定される。この津波による堆積構造の発達する厚さ35 cmの砂礫～泥層およびそれを覆う降下火山灰と考えられる厚さ30 cmの細粒砂層が横尾貝塚（図1）で報告されている（藤原ほか，2010）。外海種のヒメムシロガイ、ハナムシロガイ、アラレガイも一部で含まれるため、外洋からの流入も示唆される。深度32.56～48.59 mで採取した9個の植物片は5760～8830 yr BP、深度32.79～48.35 mで採取した5個の貝化石は6120～9410 yr BPの<sup>14</sup>C年代値をそれぞれ示す。

#### デルタフロント堆積物（深度 4.95～31.00 m）

深度14.38 mよりも上位の斜交葉理がみられる砂層と礫層、泥層の互層からなる部分と、下位の平行葉理がみられる砂層と泥層の互層によって構成される。全体として上方に向かって粗粒な粒子の含有率が増加して、泥層には巢穴やコンクリーションが多く観察される。礫は直径2～50 mmの亜角～亜円礫が主体で、砂層は主に細粒砂～粗粒砂からなり部分的に貝化石が濃集する。一方、植物片は深度14.38 mよりも下位の砂層と泥層の互層

に含まれることが多く、それより上位にはほとんど認められない。深度14.38 mよりも上位にはハマグリやイボキサゴなどの潮間帯種群が、それ以深ではウメノハナガイ、サクラガイ、ムシロガイなどの潮間帯種群およびトリガイやオカメブンブクからなる潮下帯種群が認められる。深度10.24～10.39 mおよび12.84～12.90 m, 13.32～13.39 m, 14.13～14.38 mには軽石の濃集層が認められる。初磁化率値の上方増大が示すように全体として上方粗粒化がみられるので、上位ほど強い運搬力が及ぶ環境で形成されたことを示唆している。潮間帯から潮下帯に生息する二枚貝や巻貝、棘皮動物の化石群集の変化が上位から下位に向けて認められ、掘削地点は大分川の河口付近に位置しているので、デルタ性の堆積物であると考えられる。外海種のチゴバカガイやイタヤガイも一部に含まれるため、外洋からの流入も示唆される。深度4.96～30.91 mで採取した12個の植物片は2040～5670 yr BP, 深度12.75～27.50 mで採取した5個の貝化石は5200～5800 yr BPの<sup>14</sup>C年代値をそれぞれ示す。

#### **デルタプレーン堆積物** (深度2.37～4.95 m)

深度2.89 mよりも上位の砂質泥層と粗粒砂層の互層からなる部分と、下位の砂層と礫層の互層によって構成される。下位の砂層にはクロスラミナがみられ、軽石の濃集層が深度4.16～4.20 mおよび4.59～4.60 mに観察される。礫は直径2～40 mmの亜角～亜円礫が主体で、砂層は主に中粒～極粗粒砂からなる。この層準は全体として上方細粒化を示し、初磁化率値が上方減少する。こうした特徴は蛇行河川流路の側方移動によって上位に向かって運搬力が減少した堆積物と一致する。陸源の植物片を含むが、海水の影響を示唆する貝化石や生物擾乱痕は認められず、本層は現海水面付近に分布するので、デルタプレーン堆積物であると解釈した。深度2.42～2.87 mで採取した2個の植物片は50～420 yr BPの<sup>14</sup>C年代値を示す。

人工盛土（深度0.00～2.37 m）

深度1.36 mよりも上位の砂質礫層と礫まじり砂層からなる部分と，その下位の中粒～粗粒砂層および砂質礫層とで構成される．上位の砂礫層は陶器片やレンガ片，貝殻片を含み，掘削地点の現標高（+2.38 m）を加味すると人工盛土であると考えられる．

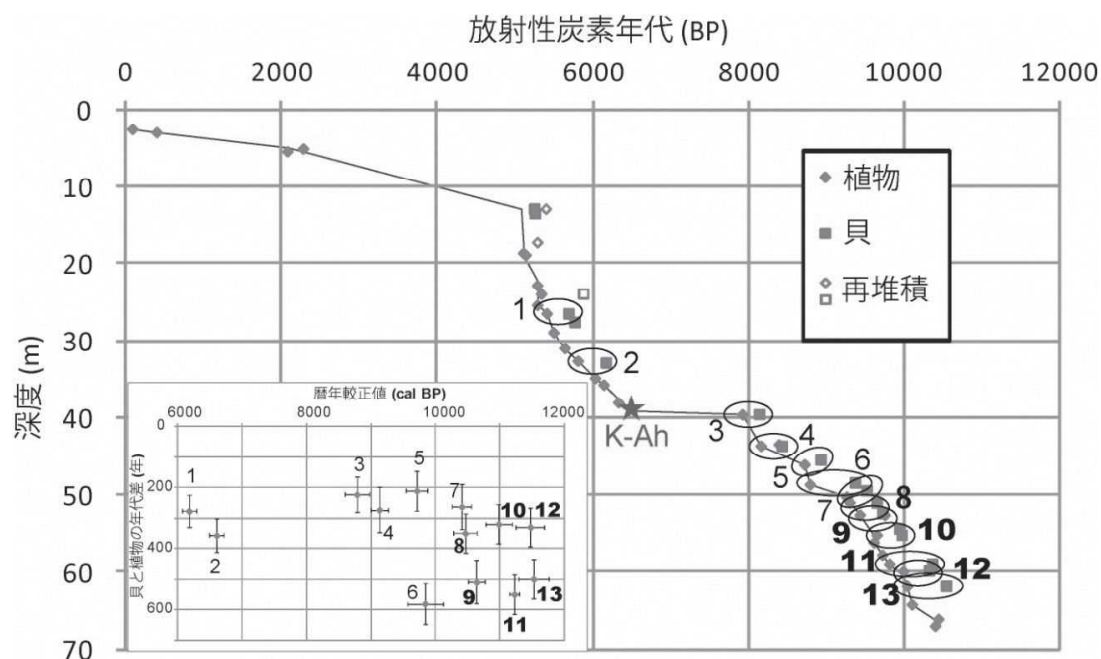


図3 KUO-1 コアの堆積曲線および貝と植物の<sup>14</sup>C年代値の差異．1～7のリザーバー効果はNakanishi et al. (2017) で報告された．K-Ahは鬼界アカホヤ火山灰を示す．

堆積曲線

今回測定した38個の植物片および18個の貝化石の<sup>14</sup>C年代値の中で，5個の植物片（5/38=13%）と1個の貝化石（1/18=6%）から層序関係と矛盾した年代値が得られた．それらを上位から順に記述する．深度4.97 mの植物片は深度5.33 mの植物片よりも200年程度古い値を示した．深度12.77 mの植物片と17.18 mの木片は深度18.57 mの種よりも170～290年，深度23.82 mの貝化石は深度26.39 mの貝化石よりも470年程度，深度43.41 mの植物片は深度43.60 mの植物片よりも230年程度それぞれ古い．深度52.51

m の植物片は同層準で 320 年矛盾した値が得られた。これらの差異はそれぞれの年代値の測定誤差である 30~60 年よりも有意に大きいので、上位から産出したのに古い値を示すこれらの 6 試料は再堆積したものであると解釈される (図 3)。植物片の堆積曲線は、陸源植物の生成場から比較的遠方のプロデルタ堆積物 (深度 38.41 m) においても、鬼界アカホヤ火山灰の噴出年代である 6300 yr BP (町田・新井, 2003) と調和することを示す (図 3)。このことは陸源植物と貝化石は生成してから速やかに堆積していることを示唆しているため、これらの差異は掘削地点周辺の大気起源と海洋起源の  $^{14}\text{C}$  年代の違い (海洋リザーバー効果: R) を反映していると考えられる。

### 海洋リザーバー効果

層序関係と矛盾しない 13 組の貝化石と植物片の  $^{14}\text{C}$  年代値から 6000~12000 cal BP の大分付近の海洋リザーバー効果を計算した。それらの計算の根拠を記述する。深度 26.39 m と 43.60 m, 50.92 m, 55.12 m, 58.89 m, 61.71 m の貝化石は同層準から産出した植物片よりも 270~550 年古い値を示した (図 3-1, 4, 8, 10, 11, 13)。深度 32.80 m の貝化石は 24 cm 上から産出した植物片よりも 360 年 (図 3-2)、深度 39.48 m の貝化石は 4 cm 下から産出した植物片よりも 220 年 (図 3-3)、深度 45.40 m の貝化石は 64 cm 下から産出した植物片よりも 210 年 (図 3-5)、深度 48.34 m の貝化石は 24 cm 下から産出した植物片よりも 580 年 (図 3-6)、深度 49.35 m の貝化石は 82 cm 下から産出した植物片よりも 260 年 (図 3-7)、深度 52.33 m の貝化石は 19 cm 下から産出した植物片よりも 290 年 (図 3-9)、深度 59.72 m の巻貝は 9 cm 下から産出した植物片よりも 330 年 (図 3-12) それぞれ古い。これらの平均と分散は  $370 \pm 130$  年の海洋リザーバー効果に相当する。一方、深度 48.34 m, 52.33 m, 58.89 m, 61.71 m の貝化石が他の値よりも二倍程度も大きい。これらは海水準上昇期のエスチュアリー堆積物で主に検知されたので、その後の海水準安定期の内湾~デルタ性堆積物よりも海洋リザーバー効果が大きくなる場合があ

ったと考えられる。なお、これらの大分平野で認定した R 値は、別府湾で採取された 14 本のピストンコア試料から得た 42 個の  $^{14}\text{C}$  年代値 (Kuwaie et al., 2013) から推定した 240~2500 cal BP の R 値 : 0~330 年 (平均  $180 \pm 110$  年) や府内断層を挟んだ群列ボーリングコアから推定された  $180 \pm 50$  年 (中西ほか, 2019) よりも若干大きい。

#### 謝辞

今回検討したコア試料と分析データの一部は、別府一万年山断層帯 (大分平野一由布院断層帯東部) における重点的な調査観測 (研究代表者: 竹村恵二) によって得られた。本研究成果の一部は 2018 年夏の日本第四紀学会において発表され、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (B, 18H01310) を使用した。記してお礼申し上げます。

#### 引用文献

- 千田 昇 (1987) 大分平野西部の完新世における地形発達. 地理学評論, **60**(7), 466-480.
- 千田 昇・竹村恵二・松田時彦・島崎邦彦・池田安隆・岡村 眞・水野清秀・松山尚典・首藤次男 (2003) 大分平野直下に伏在する府内断層の位置と最新活動時期. 活断層研究, **23**, 93-108.
- Hong, W., Park, J.H., Kim, K.J., Woo, H.J., Kim, J.K., Choi, H.K., Kim, G.D. (2010a) Establishment of chemical preparation methods and development of an automated reduction system for AMS sample preparation at KIGAM. *Radiocarbon*, **52**(3), 1277-1287.
- Hong, W., Park, J.H., Sung, K.S., Woo, H.J., Kim, J.K., Choi, H.W., Kim, G.D. (2010b) A new 1MV AMS facility at KIGAM. *Radiocarbon*, **52**(2), 243-251.
- 藤原 治・町田 洋・塩地潤一 (2010) 大分市横尾貝塚に見られるアカホヤ噴火に伴う津波堆積物. 第四紀研究, **49**(1), 23-33.
- 国土地理院 (2011) 土地条件調査解説書「大分地区」. 20p.

Kuwae, M., Yamamoto, M., Ikehara, K., Irino, T., Takemura, K., Sagawa, T., Sakamoto, T., Ikehara, M., Takeoka, H. (2013) Stratigraphy and wiggle-matching-based age-depth model of late Holocene marine sediments in Beppu Bay, southwest Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*, **69**, 133-148.

地震調査研究推進本部（2005）別府一万年山断層帯の長期評価：  
[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar\\_beppu/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_beppu/index.htm), 19.1MB.

町田 洋・新井房夫（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, 336pp.

Maeno, F., Imamura, F., Taniguchi H. (2006) Numerical simulation of tsunamis generated by caldera collapse during the 7.3 ka Kikai eruption, Kyushu, Japan. *Earth Planets Space*, **58**, 1 – 12.

Maeno, F., Imamura, F. (2007) Numerical investigations of tsunamis generated by pyroclastic flows from the Kikai caldera, Japan. *Geophysical Research Letters*, **34**, L23303, doi:10.1029/2007GL031222.

Miall, A.D. (1992) Alluvial deposits. In Walker R.G. and James, N.P., eds., *Facies Models: Response to Sea Level Change*: Geological Association of Canada, Waterloo, Ontario, 119-139.

文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科（2017）別府一万年山断層帯（大分平野一由布院断層帯東部）における重点的な調査観測. 平成 26～28 年度成果報告書, 526p.

Nakanishi, T., Takemura, K., Matsuyama, H., Shimoyama, S., Hong, W., Okuno, M. (2017) Activity of the Funai fault and radiocarbon age offsets between shell and plant pairs from the latest Pleistocene to Holocene sediments under the Oita Plain, western Japan. *Radiocarbon*, **59**(6), 1737-1748.



中西利典・木村治夫・松山尚典・ホン ワン・堀川義之・越後智雄・北田奈緒子・竹村  
恵二 (2019) 群列ボーリング調査と地中レーダ探査による伏在活断層の活動履歴の  
検討—大分平野西部の府内断層の例—. 第四紀研究, **58**(2), 163-173.

岡田篤正・池田安隆・中田 高・千田 昇・宇根 寛 (2001) 2万5千分の1都市圏活断  
層図「大分」. 国土地理院.

Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E.,  
Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliðason, H.,  
Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F.,  
Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon,  
J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13  
radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP, *Radiocarbon*, **55**(4), 1869–1887.

Stuiver, M., Reimer, P.J. (1993) Extended  $^{14}\text{C}$  data base and revised Calib 3.0  $^{14}\text{C}$  age  
calibration program, *Radiocarbon*, **35**(1), 215-230. Updated to CALIB 7.0.  
<http://calib.qub.ac.uk/calib/calib.html>