

別府湾と九州中部のテクトニクス —京大・地球熱学研究施設の果たした役割

竹村 惠二 (地球熱学研究施設・別府)

本稿は、2018年2月17日の京大地球物理学教室同窓会における講演をまとめた概要である。私は、1971年に京都大学に入学して、この2018年3月31日までの47年間に京都大学で過ごした。表題のタイトルは、私が研究の重要な部分として実施してきた、地球熱学研究施設(別府)が位置する別府湾と九州中部地域についての成果と、京都大学地球物理学教室との関係で地球熱学研究施設が果たした役割についての考えをまじえながら紹介することを意図した。この機会をいただいたことに感謝する次第である。

講演は下記の大きな章立ての内容で実施した。

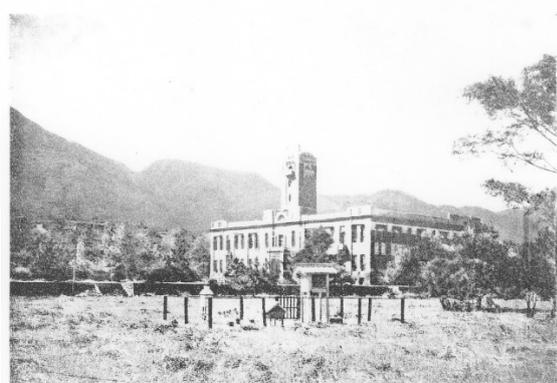
- ・はじめに(地球熱学研究施設の現在と沿革など)
- ・中部九州の第四紀テクトニクス
- ・別府湾の地球物理学的調査
- ・別府湾の堆積物と地震・火山活動イベント検出
- ・最後に:地球史的時間と人間の時間と災害、素因と誘因 である。

・はじめに(地球熱学研究施設の現在と沿革など) <スライド9枚>

現地球熱学研究施設は、1997年に別府の地球物理学研究施設と阿蘇の火山研究施設が合併することによって設立された(1997年は理学部附属、1998年から大学院理学研究科附属)。私は1987年9月に、地球物理学研究施設に赴任した。この研究所は、地球物理学研究所として、志田順(とし)教授が設立(業務研究開始は1924年なので設立年は1924年とされている)されたが、開所式の折に、深発地震に関する内容が紹介されたことでも有名である(“地球物理”創刊号参照)。また、当時から現在まで変わらぬレンガ造りの建物は1997年に国の登録有形文化財に指定されている。



2007年の地球熱学研究施設



設立当時の地球物理学研究所

・中部九州の第四紀テクトニクス<スライド 12 枚>

別府の地に京都大学の地球科学の研究所が設立されたことは、火山や地震活動、地殻変動、温泉・地熱等の多様な地球科学現象を観察し、観測し、その実態を把握する上で重要なできごとであった。別府が位置する九州中部は、20 世紀後半には、日本列島の中で特異なテクトニクスの地域として語られてきた。その理由は、“別府－島原地溝”としてまとめられたこの地域のテクトニクスを説明する概念の定着をもたらした。この魅力的なテクトニクスの概念は、時折安易な結論を導くことがあり、この概念も 20 世紀後半から批判的に議論されることもあったが、一般的な地球科学者や市民からは受け入れやすい魅力的な概念であったため、最近まで使用されている現状がある。2016 年熊本地震が発生した際も、“別府－島原地溝”だからという説明が多くみられたが、せつかくの多様な多量な観測事実に基づく説明が大事だと感じさせられた。私は 1990 年代後半からの、研究施設が推進してきた反射法地震探査などの地球物理学的観測調査に基づき、単純な“広域地溝”概念では説明しきれないことが多く存在することから“ ”をつけて、従来から言われている概念として“別府－島原地溝”として意識的に表現することとしてきた。

さて、九州中部地域で語られてきたことをまとめてみると、“別府－島原地溝”とされた基本的な地形・地質・地球物理学情報がある。これは、別府から島原半島へ続く地溝状地帯としてまとめることができよう。すなわち、小規模の東西方向の地溝状地帯（細かくみれば、別府地溝、由布－鶴見地溝、速見地溝、万年山地溝、雲仙地溝など）であり、北が南落ちで南が北落になる正断層地形を主とし、短い長さの断層の集合が特徴的である。また、重力異常の分布による大きな負の重力異常の分布の連続性、活火山が連なることなどもあり、張力場に生じた現象が顕著であり、地殻変動情報も加わり、“別府－島原地溝”というテクトニクスの概念が定着したものと考えられる。

しかし、「全体が圧縮場にあるという考え方もある」、「中央構造線の右横ずれ運動があり、これはどこまで影響しているのか」、「火山フロントを横切った構造区になるのに課題はないのか」、「全体を一括して、正断層帯の地溝としてよいのか」、「地殻内での深度方向の違いはないのか」などの課題が存在することも指摘されてきた。

これらの課題について現在の情報（地形・地質・地球物理学的情報）を整理することにより、まとめることができた。その結果は、九州中部地域全体が、別府から島原半島にかけての単純な地溝形成でまとめられるテクトニクスではなく、フィリピン海プレートの沈み込みによる応力を受けつつ、南海トラフでのななめ沈み込みと琉球海溝への直交沈み込みの影響を大きく受けていることや地震発生層の深さが東西で大きく異なること、地殻変動観測でも 100 年間、10 年間の各時間単位で様相が変わること、地質学的時間（過去 600 万年以降）ではプレートの沈み込み方向の変化などから、いくつかのテクトニックイベントやテクトニックブロックがあったことを紹介した。

これらの情報について、別府に位置した京都大学の地球物理学研究施設、地球熱学研究施

設（1997年以降）は貴重な地球科学調査観測情報を取得してきた。この点について、2点を次の2章で紹介した。

なお、参考文献として、「日本の地質：九州・沖縄地方，朝倉書店（2010年発行）の第四紀テクトニクス」に本章の関連のまとめ、文献の記述が整理されている。

・別府湾の地球物理学的調査<スライド16枚>

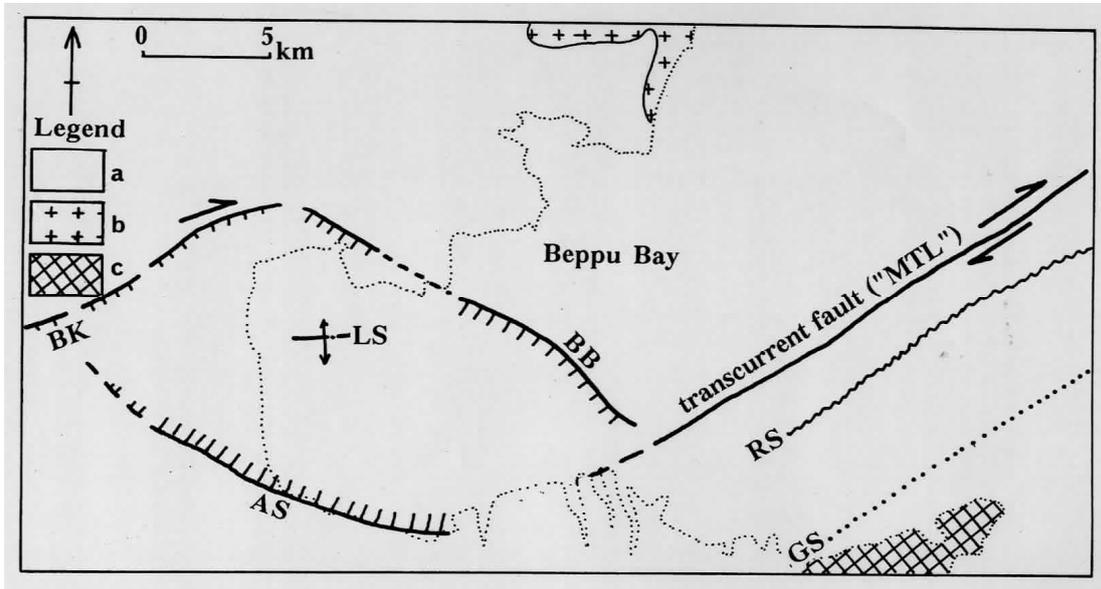
1924年以来、地球物理学研究施設では多くの地球物理学的観測調査（地震や地殻変動、温泉・地熱現象など）を実施してきた。琵琶湖畔に設立され、深層掘削を琵琶湖で実施する目的で1977年から1987年の10年時限で京大理学部附属施設であった「琵琶湖古環境実験施設」（地球物理学教室の同窓会では、「琵琶湖掘削—その後」として紹介）が1987年に別府の施設に合流することで人員・経費を増やした地球物理学研究施設では、事業費をフルに活用して、別府地域を中心とした九州中部地域の大規模の地球物理学的調査が実施できることになった。特に反射法地震探査と重力探査を主とした地殻構造探査は、前章で挙げた課題を考察するための重要な結果をもたらすこととなった。

別府湾周辺における反射法地震探査および重力探査の結果と地熱資源の大規模調査の結果から、「九州中部地域の東部地域を含んだ地域は、150万年前ころのフィリピン海プレートの沈み込み方向の変化によって堆積盆地形成の様相が変化したこと」、「別府湾が最近の大規模な右横ずれ断層の末端としてのテクトニクスで形成されたこと」が明らかにされ、それらの構造盆地形成の重ね合わせが現在の地殻構造や堆積盆地の形成に大きく影響したことが説明できることが発表された。また、それらの時系列での造盆地運動の結果の形状が、テクトニックシミュレーションでも再現できることが1990年代後半には論文化された。このように、地球物理学研究施設での観測調査・研究成果は、九州中部地域のテクトニクスの解明に向けて、「単純に南北方向に開く地溝形成という」概念から離れ、観測データ等から時系列的なテクトニクスを考察する重要な貢献となった。

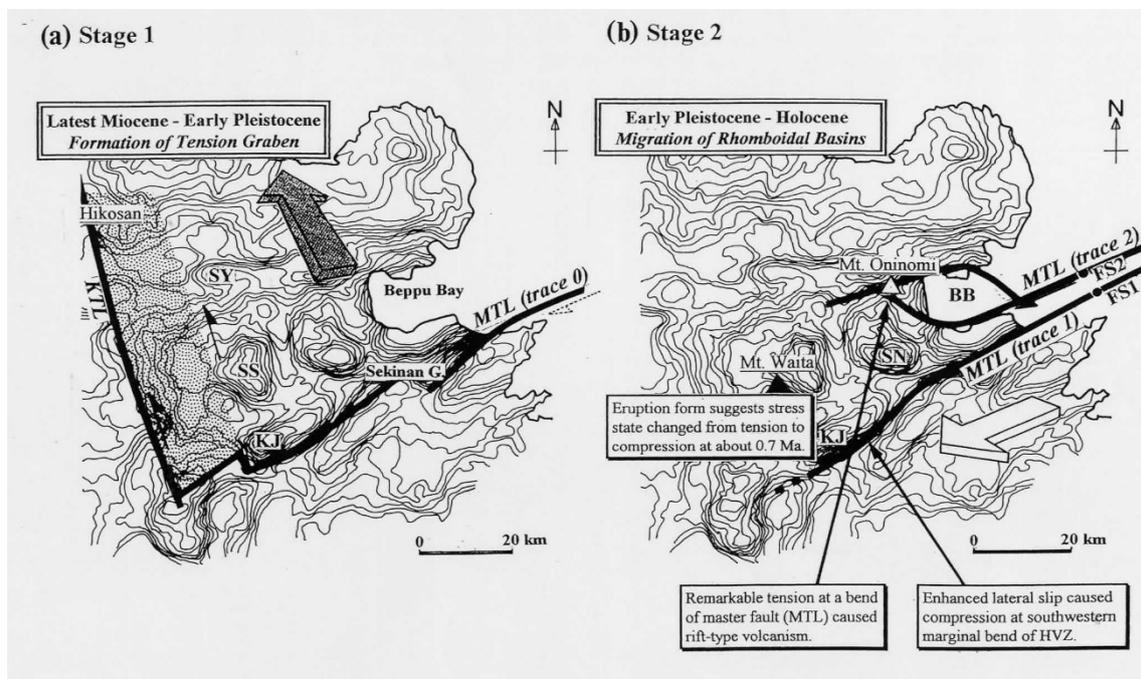
本章の参考文献としては、(1)「日本の地質：九州・沖縄地方，朝倉書店（2010年発行）の第四紀テクトニクス」、(2) 由佐悠紀ほか（1992）：反射法地震探査および重力調査による別府湾の地下構造。 *地震*, 45, 199-212. (3) Takemura, K. et al. (1994): Quaternary tectonic movements around Beppu Bay at the western end of the Median Tectonic Line, southwest Japan. *Spec. Pub. Jour. Geod. Soc. Japan (Proc. CRCM'93, Kobe)*, 401-405.

(4) Itoh, Y., Takemura, K. & Kamata, H. (1998): History of basin formation and tectonic evolution at the termination of a large transcurrent fault system: deformation mode of central Kyushu, Japan. *Tectonophysics*, 284, 135-150. (5) Kusumoto, S., Takemura, K., Fukuda, Y. & Takemoto, S. (1999): Restoration of depression structure at the eastern part of central Kyushu, Japan, by means of dislocation modeling. *Tectonophysics*, 302, 287-296. (6) Itoh, Y., Kusumoto, S. & Takemura, K. (2014): Evolutionary process of the

Beppu Bay in central Kyushu, Japan: a quantitative study of basin-forming process under the control of plate convergence modes. *Earth, Planet and Space*, vol. 66, 66-74 (doi:10.1186/1880-5981-66-74). など



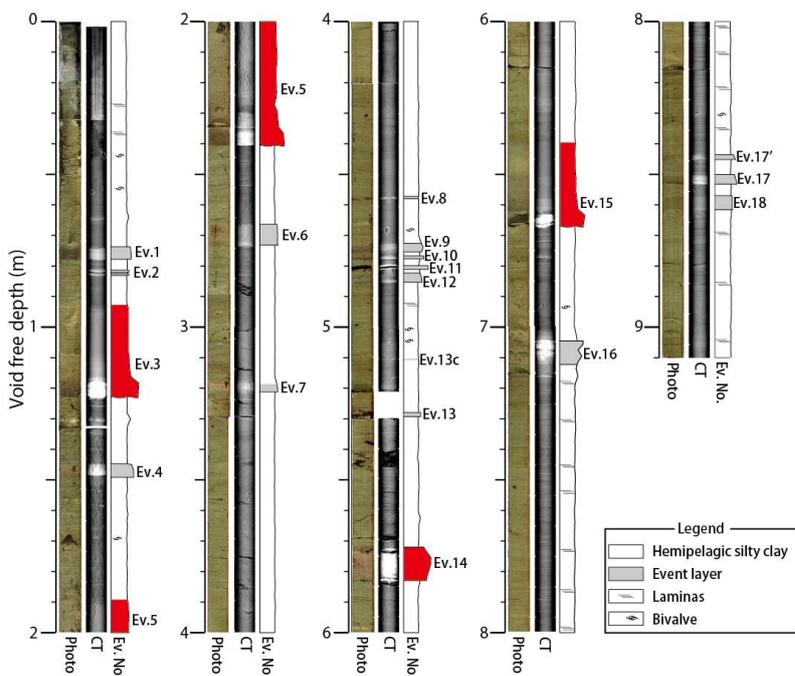
別府湾構造イメージ (Takemura et al, 1994) a: b,c 以外の新生代以降の堆積岩・火山岩分布域および水域、b: 領家変成岩類、c: 三波川変成岩類



豊肥火山地帯 (九州中部地域東部) の構造発達史 (Itoh et al., 1998) (左 Stage 1 : 1.5Ma 頃以前、右 Stage 2 : 1.5 Ma 頃以降)

・別府湾の堆積物と地震・火山活動イベント検出<スライド 8 枚>

最近の地質時代に、大規模の右横ずれ断層の運動によって形成され続ける別府湾奥（高崎山沖）は、別府湾でももっとも深い水深を有している。また、還元性環境の海底域が形成されることで、周辺からの堆積物の保存能が高く、高い時間分解能を有するため、最近の後氷期（過去 1 万年程度）での連続的な自然史環境記録の堆積物が期待される。それらの堆積物を用いて最近の高精度・高分解能での分析・解析がすすめられた。別府湾形成のテクトニクスの現在は、このように大きなメリットを持つ場を形成していると考えられる。特に、文部科学省の受託研究と関連して、別府一万年山断層帯（大分平野一由布院断層帯東部）を対象として実施された活断層の重点的な調査観測（代表：竹村恵二）はこの地域の総合的な地球科学的調査に基づく成果をあげた。特に、高崎山の別府湾最深部で、海底から 20m の別府湾堆積物ピストンコアを入手し、少なくとも 7300 年前から現在までの、環境変化の記録や地震・火山活動の記録を入手することができた。活断層の活動性や活動時期に関しては、off-fault 情報とされる断層分布から離れた地点で、活動の痕跡を系統的に確認する情報の整理がなされた。特に、1596 年に起こった慶長豊後地震と対応する年代の地層に、タービダイトと認定される明瞭な層が確認できたことは歴史時代の地震および災害記録との対応に貴重な情報を提供した。また、火山活動史としては、7300 年前の南九州海上の鬼界カルデラから噴出した鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah）以降の別府湾周辺への火山活動影響の記録が明らかにされた。その中には、阿蘇・九重・由布・鶴見岳などの活火山の活動の時代を決定できる高精度の記録が存在することが明らかになった。このように、別府湾は現在の人間社会にとって、対応を迫られる地球科学的現象による災害との関連について考察できる重要な自然史アーカイブとしての高い価値を有していると考えられ、それらの堆積物に対する解析手法は、今後の地球科学情報の高精度化・高時間分解能への例として有用となっている。



Kuwae et al. (2013)および Yamada et al. (2016)による過去 3000 年間のイベント記録、Event 3 は慶長豊後地震に伴うタービダイトと認定されている

本章の参考文献は、(1) 文部科学省研究開発局・国立大学法人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)」における重点的調査観測 (平成 26~28 年度成果報告書)

https://www.jishin.go.jp/database/project_report/beppu_haneyama-h28/

(2) Kuwae, M., et al. (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. (3) Yamada, K. et al. (2016): Basin filling related to the Philippine Sea Plate motion in Beppu Bay, southwest Japan, *Journal of Asian Earth Sciences*, 117, 13-22.

・最後に：地球史的時間と人間の時間と災害、素因と誘因<スライド 6 枚>

最後に数枚のスライドで、この間の研究・教育生活における思いを少しまとめてみた。

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震 (災害としては東日本大震災) 以後、低頻度巨大地球科学現象と関連した巨大災害が注目されるが、日常的な時間・一人の人間が生きる時間の感覚では、高頻度中小規模地球科学現象とその災害規模に関する関連も地球科学に携わる研究者として重要性を認識しておくことも必要である。私が対象としてきた九州や西南日本で起こる突発的極端現象には、活火山の活動、活断層の活動、海溝型地震やプレート内地震の活動などや、台風・局地的豪雨・竜巻・強風などの極端気象などの現象理解とその記録を利活用する作業が必要である。2016 年に私自身も別府で被災した熊本地震における地球科学情報に基づく現象理解と災害との関連説明はまだ多岐にわたっている。1995 年兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災) 以来、新しく設置された地震調査研究推進本部等が継続して多量に蓄積してきた現地観測の情報と熊本地震の被害との関連が、わかりやすく説明できるまでに成熟することが望まれ、熊本地震はそのための試金石になると考えている。

ある領域 (50 km 圏内、100 km 圏内、500 km 圏内など多様な領域) におけるテクトニクスや関連する地震・火山活動を議論する場合、その活動の累積性・イベント性・時間間隔などが重要な情報であり、それらの変動のタイプとスピードを加味した地球科学的検討が望まれ、その将来に向けての活動の蓋然性の高度化と、さらには人間社会への影響、すなわち被害予測や現在対応をより精度高く吟味することが今後一層、地球科学 (者) に要請されてくると考えられる。今後、多面的地球科学的調査観測とそれを踏まえた診断 (能力) が重要となる。そのためには、基礎的な大地の現状の実態解明 (4 次元的な空間理解) が非常に重要であり、綿密な調査観測・現地調査に基づく、空間・時間サイズに応じたテクトニクスの理解が欠かせないと考える。それらの研究・教育が京都大学の地球惑星科学関連研究集団をプラットフォームとして、地域・日本・世界で進展していくことが期待される。