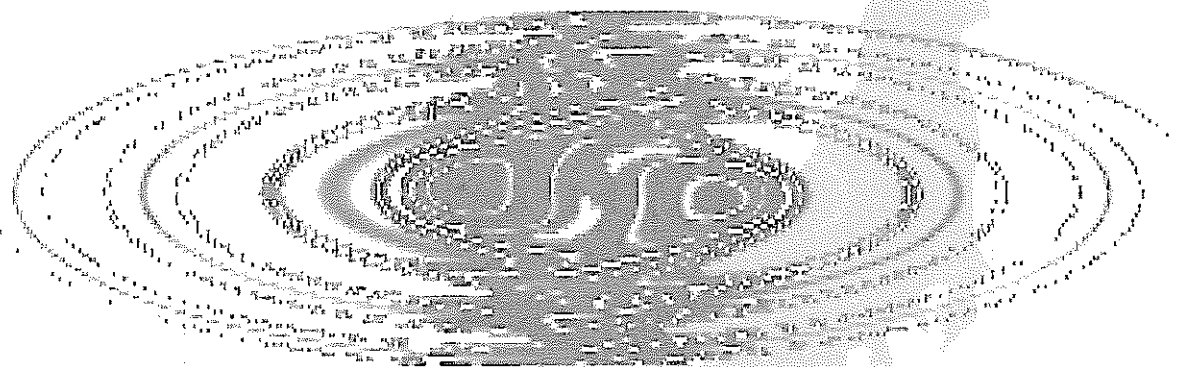


我が国の地質環境の長期安定性について
—天然事象研究シンポジウム—

要 旨 集



平成 14 年 3 月 11 日 虎ノ門パストラル

核燃料サイクル開発機構

本試料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2002

我が国の地質環境の長期安定性について

—天然事象研究シンポジウム—

○日 時： 平成 14 年 3 月 11 日(月) 10:00~17:20

○場 所： 虎ノ門パストラル 葵の間(東京都港区虎ノ門 4-1-1, 本館 1 階)

開催趣旨

核燃料サイクル開発機構が進めている高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発のうち、地質環境の長期安定性に関する研究は、安定大陸に比べて火山活動や隆起・侵食などの天然事象が活発な我が国においては、地層処分システムの長期にわたる安全性を評価する上で極めて重要です。

当機構は、これまでに多くの大学や研究機関のご指導・ご協力を得て、我が国における主要な天然事象やそれらにともなう地質環境の変化に関するデータベースの整備を進めてまいりました。その成果として、「日本の第四紀火山カタログ¹⁾」、「日本列島地温勾配図²⁾」、「200 万分の 1 日本列島活断層図³⁾」、「日本周辺海域の第四紀地質構造図⁴⁾」、「日本の海成段丘アトラス⁵⁾」などが編纂されました。当機構は、これらの成果を活用して地質環境の長期安定性に関する研究をとりまとめ、地層処分の技術的信頼性についての技術報告書「地層処分研究開発第 2 次取りまとめ」に反映することができました。

本シンポジウムは、こうした火山活動や隆起・侵食などの天然事象に関するこれまでの学術的な研究成果を、大学や研究機関の研究者の方々からご紹介いただくことにより、本シンポジウムに参加される様々な分野の専門家の皆様に、天然事象に関する研究についての知見を深めていただくとともに、それらの研究成果を地層処分の観点から取りまとめた地質環境の長期安定性に関する研究開発への理解に資することおよび、核燃料サイクル開発機構の研究開発についてのご助言をいただくことを目的として開催するものです。

-
- 1) 「日本の第四紀火山カタログ」、日本火山学会(1999 年)
 - 2) 「日本列島地温勾配図」、地質調査所(1999 年)
 - 3) 「200 万分の 1 日本列島活断層図」、活断層研究(2000 年)
 - 4) 「日本周辺海域の第四紀地質構造図」、海洋調査技術(2001 年)
 - 5) 「日本の海成段丘アトラス」、東京大学出版会(2001 年)

プログラム

開会挨拶

1. 特別講演「地球システム変動の理解と予測」10:20~11:20

大和 愛司 核燃料サイクル開発機構理事

2. セッション1:我が国における火成活動研究 11:25~

平 朝彦 東京大学海洋研究所教授

①わが国の火山の特徴:「火山カタログ」

座長 高橋 正樹 日本大学教授

②火山カタログを利用した気象庁の火山情報の改革計画

林 信太郎 秋田大学教授

—休憩— 12:25~13:10

③地下の温度構造:「日本列島地温勾配図」

宇井 忠英 北海道大学教授

3. セッション2:我が国における地質構造研究 14:00~

笹田 政克 (独)産業技術総合研究所総括研究員

④日本の活断層:「活断層詳細 GIS マップからわかること」

座長 小池 一之 駒澤大学教授

⑤日本列島の生い立ち:「日本列島周辺海域の構造発達史」

中田 高 広島大学教授

⑥日本列島の海岸線:「日本の海成段丘アトラス」

徳山 英一 東京大学海洋研究所教授

町田 洋 東京都立大学名誉教授

—休憩— 16:20~16:30

4. セッション3:地質環境の長期安定性に関する研究 16:30~

座長 小島 圭二 東京大学名誉教授

「地質環境の長期安定性に関する将来予測研究の課題」

武田 精悦 核燃料サイクル開発機構

閉会挨拶

河田東海夫 核燃料サイクル開発機構

※ロビーにて、休憩時等にポスターセッションを行っています。

ポスターセッション

●地震・断層

1. 活断層における空中物理探査

奥野孝晴・池田和隆・中山文也(応用地質(株)), 石丸恒存(核燃料サイクル開発機構)

2. 200万分の1日本列島活断層図

200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ: 中田 高(広島大学), 東郷正美(法政大学), 千田 昇(大分大学), 今泉俊文(山梨大学), 奥村晃史(広島大学), 渡辺満久(東洋大学), 宮内崇裕(千葉大学), 鈴木康弘(愛知県立大学), 堤 浩之(京都大学), 隅元 崇(東京都立大学), 岡田篤正(京都大学), 松田時彦(西南学院大学), 松岡裕美(高知大学), 佐々木達哉・三輪敦志・高橋奈緒(応用地質(株)), 野原 壯・郡谷順英(核燃料サイクル開発機構)

3. 日本周辺海域の地質構造マッピング

海域地質構造マップワーキンググループ: 徳山英一(主査, 東京大学海洋研究所), 芦 寿一郎(東京大学), 荒戸裕之(帝国石油(株)), 伊藤康人(大阪府立大学), 岡村行信((独)産業技術総合研究所), 木村政昭(琉球大学), 倉本真一(科学技術庁, 現(独)産業技術総合研究所), 徐 垣(海洋科学技術センター), 日野亮太(東北大学), 本座栄一(熊本大学), 安間 恵・半場康弘・向山建二郎(川崎地質(株)), 野原 壯・郡谷順英(核燃料サイクル開発機構)

4. 断層活動に伴う周辺地下水流動系の変化に関する数値解析的検討

—野島断層周辺の二次元浸透流解析—

大澤英昭(核燃料サイクル開発機構), 佐藤 努((独)産業技術総合研究所), 古屋和夫・児玉利雄(佐藤工業(株)), 酒井隆太郎(応用地質(株))

5. 日本周辺海底地質図および音波探査プロファイルデータベース

中尾征三・湯浅真人・倉本真一・長谷川功((独)産業技術総合研究所), 中司 昇(核燃料サイクル開発機構), 高木俊男(核燃料サイクル開発機構, 現サンコーコンサルタント(株)), 長谷川正・畑山一人(総合地質調査(株))

6. 野島断層3次元・2次元高分解能反射法地震探査

河村知徳(東京大学地震研究所), 太田陽一((株)地球科学総合研究所), 荒井良祐(川崎地質(株)), 小先章三(大和探査技術(株)), 平田直(東京大学地震研究所), 伊藤谷生(千葉大学), 井川猛((株)地球科学総合研究所), 石丸恒存(核燃料サイクル開発機構)

7. 間隙水圧の地震時動的挙動解析

黒瀬歩(仏エコールポリテクニク), Brouard, B. (仏 Brouard Consulting), 青木和弘・前川恵輔(核燃料サイクル開発機構), 川村淳(三菱マテリアル資源開発(株))

●火山

8. 日本の第四紀火山カタログ

第四紀火山カタログ委員会: 宇井忠英(代表者, 北海道大学), 荒牧重雄(東京大学名誉教授), 河内晋平(信州大学, 故人), 小林哲夫(鹿児島大学), 小山真人(静岡大学), 佐藤博明(神戸大学), 高橋正樹(日本大学), 千葉達郎(アジア航測(株)), 津久井雅志(千葉大学), 林信太郎(秋田大学), 梅田浩司・湯佐泰久(核燃料サイクル開発機構)

9. 第四紀火山地形解析

向山栄・猪股隆行・榎田祐子(国際航業(株)), 梅田浩司(核燃料サイクル開発機構)

10. 全国地温勾配図の作成

伊達二郎((財)新エネルギー財団), 高橋洋(三菱マテリアル資源開発(株)), 矢野雄策・田中明子・高橋正明・大久保泰邦・笹田政克((独)産業技術総合研究所), 梅田浩司・中司昇(核燃料サイクル開発機構), 小松亮(核燃料サイクル開発機構, 現地熱エンジニアリング(株))

11. 貫入岩体が地質環境へ与える熱的・力学的影響の調査

—成果と今後の課題—

棚瀬充史・水落幸広(住鉱コンサルタント(株)), 小松亮(核燃料サイクル開発機構, 現地熱エンジニアリング(株)), 梅田浩司(核燃料サイクル開発機構)

12. 温泉地化学データベースの作成

小松亮(核燃料サイクル開発機構, 現地熱エンジニアリング(株)), 黒墨秀行・福田大輔・浅沼幹弘(地熱エンジニアリング(株)), 梅田浩司(核燃料サイクル開発機構)

●隆起・沈降・侵食, 気候・海水準変動

13. 河岸段丘から推定した河床高度変化の歴史

高木俊男(核燃料サイクル開発機構, 現サンコーコンサルタント(株)), 柳田誠・小澤昭男(アイ・エヌ・エー(株)), 藤原治(核燃料サイクル開発機構)

14. 第四紀テフラ資料の高精度年代測定

—その試料評価と測定精度・トラック長解析を中心として—

檀原徹・岩野英樹((株)京都フィッシュントラック), 藤原治(核燃料サイクル開発機構)

15. 日本列島周辺における第四紀後期の気候および海水準の変遷

米田茂夫・伊勢明広((株)ダイヤコンサルタント), 藤原治・松末和之(核燃料サイクル開発機構)

16. 海岸移動調査のためのジオスライサー地層採取法

原口強(復建調査設計(株)), 藤原治(核燃料サイクル開発機構), 高田圭太((独)産業技術総合研究所活断層研究センター)

17. 沈降量分布図

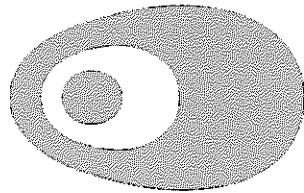
高木俊男(核燃料サイクル開発機構, 現サンコーコンサルタント(株)), 藤原治(核燃料サイクル開発機構), 佐々木勝司・川崎輝雄(サンコーコンサルタント(株))

18. 段丘アトラス

段丘アトラスワーキンググループ: 小池一之(代表, 駒澤大学), 町田洋(東京都立大学名誉教授), 貝塚爽平(東京都立大学名誉教授, 故人), 米倉伸之(東京大学名誉教授, 故人), 山崎晴雄(東京都立大学), 長岡信治(長崎大学), 前空英明(広島大学), 八木浩司(山形大学), 渡辺満久(東洋大学), 鈴木毅彦(東京都立大学), 宮内崇裕(千葉大学), 藤原治(核燃料サイクル開発機構)

19. 日本列島における侵食速度の分布

三箇智二(日鉱探開), 藤原治(核燃料サイクル開発機構), 大森博雄(東京大学)



○天然事象研究シンポジウム事務局：
核燃料サイクル開発機構 本社バックエンド推進部

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地 49
TEL 029-282-1122(代表) FAX 029-282-8174

ホームページアドレス <http://www.jnc.go.jp/>

はじめに

核燃料サイクル開発機構が進めている高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発のうち、地質環境の長期安定性に関する研究は、安定大陸に比べて火山活動や隆起・侵食などの天然事象が活発な我が国においては、地層処分システムの長期にわたる安定性を評価する上で極めて重要です。

サイクル機構は、これまで多くの大学や研究機関のご指導・ご協力を得て、我が国における主要な天然事象やそれらにともなう地質環境の変化に関するデータベースの整備を進めてまいりました。その成果として、「日本の第四紀火山カタログ」、「日本列島地温勾配図」、「200 万分の 1 日本列島活断層図」、「日本周辺海域の第四紀地質構造図」、「日本の海成段丘アトラス」などが編纂されました。サイクル機構は、これらの成果を活用して地質環境の長期安定性に関する成果を取りまとめ、地層処分の技術的信頼性についての技術報告書「地層処分研究開発第 2 次取りまとめ」に反映することができました。

「我が国の地質環境の長期安定性について—天然事象研究シンポジウム」は、こうした火山活動や隆起・侵食などの天然事象に関する学術的な研究成果を、大学や研究機関の研究者の方々からご紹介いただくことにより、本シンポジウムに参加される様々な分野の専門家の皆様に、天然事象に関する研究についての知見を深めていただくとともに、それらの研究成果を地層処分の観点から取りまとめた地質環境の長期安定性に関する研究開発への理解に資すること及び、サイクル機構の研究開発についてのご助言をいただくことを目的として開催するものです。

本資料は、本シンポジウムの特別講演要旨、セッション 1～セッション 3 の講演要旨及び、ポスターセッションの要旨を取りまとめたものです。

プログラム

開会挨拶

(1)特別講演「地球システム変動の理解と予測」 10:20~11:20

大和 愛司 核燃料サイクル開発機構理事

平 朝彦 東京大学海洋研究所教授

(2)セッション1: 我が国における火成活動研究 11:25~

座長 高橋 正樹 日本大学教授

①わが国の火山の特徴:「火山カタログ」

林 信太郎 秋田大学教授

②火山カタログを利用した気象庁の火山情報の改革計画

宇井 忠英 北海道大学教授

—休憩— 12:25~13:10

③地下の温度構造:「日本列島地温勾配図」

笹田 政克 (独)産業技術総合研究所総括研究員

(3)セッション2: 我が国における地質構造研究 14:00~

座長 小池 一之 駒澤大学教授

④日本の活断層:「活断層詳細 GIS マップからわかること」

中田 高 広島大学教授

⑤日本列島の生い立ち:「日本列島周辺海域の構造発達史」

徳山 英一 東京大学海洋研究所教授

⑥日本列島の海岸線:「日本の海成段丘アトラス」

町田 洋 東京都立大学名誉教授

—休憩— 16:20~16:30

(4)セッション3: 地質環境の長期安定性に関する研究 16:30~

座長 小島 圭二 東京大学名誉教授

「地質環境の長期安定性に関する将来予測研究の課題」

武田 精悦 核燃料サイクル開発機構

開会挨拶

河田東海夫 核燃料サイクル開発機構

※ロビーにて、休憩時等にポスターセッションを行っています。

ポスターセッション

●地震・断層

1. 活断層における空中物理探査

奥野孝晴・池田和隆・中山文也(応用地質(株)), 石丸恒存(核燃料サイクル開発機構)

2. 200万分の1日本列島活断層図

200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ: 中田 高(広島大学), 東郷正美(法政大学), 千田 昇(大分大学), 今泉俊文(山梨大学), 奥村晃史(広島大学), 渡辺満久(東洋大学), 宮内崇裕(千葉大学), 鈴木康弘(愛知県立大学), 堤 浩之(京都大学), 隅元 崇(東京都立大学), 岡田篤正(京都大学), 松田時彦(西南学院大学), 松岡裕美(高知大学), 佐々木達哉・三輪敦志・高橋奈緒(応用地質(株)), 野原 壯・郡谷順英(核燃料サイクル開発機構)

3. 日本周辺海域の地質構造マッピング

海域地質構造マップワーキンググループ: 徳山英一(主査, 東京大学海洋研究所), 芦 寿一郎(東京大学), 荒戸裕之(帝国石油(株)), 伊藤康人(大阪府立大学), 岡村行信((独)産業技術総合研究所), 木村政昭(琉球大学), 倉本真一(科学技術庁, 現(独)産業技術総合研究所), 徐 垣(海洋科学技術センター), 日野亮太(東北大学), 本座栄一(熊本大学), 安間 恵・半場康弘・向山建二郎(川崎地質(株)), 野原 壯・郡谷順英(核燃料サイクル開発機構)

4. 断層活動に伴う周辺地下水流動系の変化に関する数値解析的検討

—野島断層周辺の二次元浸透流解析—

大澤英昭(核燃料サイクル開発機構), 佐藤 努((独)産業技術総合研究所), 古屋和夫・児玉利雄(佐藤工業(株)), 酒井隆太郎(応用地質(株))

5. 日本周辺海底地質図および音波探査プロフィールデータベース

中尾征三・湯浅真人・倉本真一・長谷川功((独)産業技術総合研究所), 中司 昇(核燃料サイクル開発機構), 高木俊男(核燃料サイクル開発機構, 現サンコーコンサルタント(株)), 長谷川正・畑山一人(総合地質調査(株))

6. 野島断層3次元・2次元高分解能反射法地震探査

河村知徳(東京大学地震研究所), 太田陽一((株)地球科学総合研究所), 荒井良祐(川崎地質(株)), 小先章三(大和探査技術(株)), 平田直(東京大学地震研究所), 伊藤谷生(千葉大学), 井川猛((株)地球科学総合研究所), 石丸恒存(核燃料サイクル開発機構)

7. 間隙水圧の地震時動的挙動解析

黒瀬歩(仏エコーポリテクニク), Brouard, B. (仏 Brouard Consulting), 青木和弘・前川恵輔(核燃料サイクル開発機構), 川村淳(三菱マテリアル資源開発(株))

●火山

8. 日本の第四紀火山カタログ

第四紀火山カタログ委員会: 宇井忠英(代表者, 北海道大学), 荒牧重雄(東京大学名誉教授), 河内晋平(信州大学, 故人), 小林哲夫(鹿児島大学), 小山真人(静岡大学), 佐藤博明(神戸大学), 高橋正樹(日本大学), 千葉達郎(アジア航測(株)), 津久井雅志(千葉大学), 林信太郎(秋田大学), 梅田浩司・湯佐泰久(核燃料サイクル開発機構)

9. 第四紀火山地形解析

向山栄・猪股隆行・横田祐子(国際航業(株)), 梅田浩司(核燃料サイクル開発機構)

10. 全国地温勾配図の作成

伊達二郎((財)新エネルギー財団), 高橋洋(三菱マテリアル資源開発(株)), 矢野雄策・田中明子・高橋正明・大久保泰邦・笹田政克((独)産業技術総合研究所), 梅田浩司・中司昇(核燃料サイクル開発機構), 小松亮(核燃料サイクル開発機構, 現地熱エンジニアリング(株))

11. 貫入岩体が地質環境へ与える熱的・力学的影響の調査

—成果と今後の課題—

榎瀬充史・水落幸広(住鉱コンサルタント(株)), 小松亮(核燃料サイクル開発機構, 現地熱エンジニアリング(株)), 梅田浩司(核燃料サイクル開発機構)

12. 温泉地化学データベースの作成

小松亮(核燃料サイクル開発機構, 現地熱エンジニアリング(株)), 黒墨秀行・福田大輔・浅沼幹弘(地熱エンジニアリング(株)), 梅田浩司(核燃料サイクル開発機構)

●隆起・沈降・侵食, 気候・海水準変動

13. 河岸段丘から推定した河床高度変化の歴史

高木俊男(核燃料サイクル開発機構, 現サンコーコンサルタント(株)), 柳田誠・小澤昭男(アイ・エヌ・エー(株)), 藤原治(核燃料サイクル開発機構)

14. 第四紀テフラ資料の高精度年代測定

—その試料評価と測定精度・トラック長解析を中心として—

檀原徹・岩野英樹((株)京都フィッシュトラック), 藤原治(核燃料サイクル開発機構)

15. 日本列島周辺における第四紀後期の気候および海水準の変遷

米田茂夫・伊勢明広((株)ダイヤコンサルタント), 藤原治・松末和之(核燃料サイクル開発機構)

16. 海岸移動調査のためのジオスライサー地層採取法

原口強(復建調査設計(株)), 藤原治(核燃料サイクル開発機構), 高田圭太((独)産業技術総合研究所活断層研究センター)

17. 沈降量分布図

高木俊男(核燃料サイクル開発機構, 現サンコーコンサルタント(株)), 藤原治(核燃料サイクル開発機構), 佐々木勝司・川崎輝雄(サンコーコンサルタント(株))

18. 段丘アトラス

段丘アトラスワーキンググループ: 小池一之(代表, 駒澤大学), 町田洋(東京都立大学名誉教授), 貝塚幸平(東京都立大学名誉教授, 故人), 米倉伸之(東京大学名誉教授, 故人), 山崎晴雄(東京都立大学), 長岡信治(長崎大学), 前空英明(広島大学), 八木浩司(山形大学), 渡辺満久(東洋大学), 鈴木毅彦(東京都立大学), 宮内崇裕(千葉大学), 藤原治(核燃料サイクル開発機構)

19. 日本列島における侵食速度の分布

三箇智二(日鉱探開), 藤原治(核燃料サイクル開発機構), 大森博雄(東京大学)

目次

はじめに

プログラム

【特別講演】

- 地球システム変動の理解と予測・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
平 朝彦（東京大学海洋研究所教授）

【セッション1：我が国における火成活動研究】

- ①わが国の火山の特徴：「火山カタログ」・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
林 信太郎（秋田大学教授）
- ②火山カタログを利用した気象庁の火山情報の改革計画・・・・・・・・ 8
宇井 忠英（北海道大学教授）
- ③地下の温度構造：「日本列島地温勾配図」・・・・・・・・・・・・・・・・ 10
笹田 政克（独立行政法人産業技術総合研究所総括研究員）

【セッション2：我が国における地質構造研究】

- ④日本列島の活断層：「活断層詳細GISマップからわかること」・・・・ 13
中田 高（広島大学教授）
- ⑤日本列島の生い立ち：「日本列島周辺海域の構造発達史」・・・・・・・・ 16
徳山 英一（東海大学海洋研究所教授）
- ⑥日本列島の海岸線：「日本の海成段丘アトラス」・・・・・・・・・・・・ 23
町田 洋（都立大学名誉教授）

【セッション3：地質環境の長期安定性に関する研究】

- 地質環境の長期安定性に関する将来予測研究の課題・・・・・・・・・・・・ 31
武田 精悦（核燃料サイクル開発機構）

【ポスターセッション】

<地震・活断層>

1. 活断層における空中物理探査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37
奥野孝晴・池田和隆・中山文也（応用地質株式会社），石丸恒存（核燃料サイクル開発機構）
2. 200万分の1日本列島活断層図・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 39
200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ：中田高（広島大学），東郷正美（法政大学），千田昇（大分大学），今泉俊文（山梨大学），奥村晃史（広島大学），渡辺満久（東洋大学），宮内崇裕（千葉大学），鈴木康弘（愛知県立大学），堤浩之（京都大学），隈元崇（東京都立大学，現岡山大学），岡田篤正（京都大学），松田時彦（西南学院大学），松岡裕美（高知大学），佐々木達哉・三輪敦志・高橋奈緒（応用地質株式会社），野原壯・郡谷順英（核燃料サイクル開発機構）
3. 日本周辺海域の地質構造マッピング・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
海域地質構造マップワーキンググループ：徳山英一（主査，東京大学海洋研究所），芦寿一郎（東京大学），荒戸裕之（帝国石油株式会社），伊藤康人（大阪府立大学），岡村行信（独立行政法人産業技術総合研究所），木村政昭（琉球大学），倉本真一（科学技術庁，現独立行政法人産業技術総合研究所），徐垣（海洋科学技術センター），日野亮太（東北大学），本座栄一（熊本大学）
安間恵・半場康弘・向山健二郎（川崎地質株式会社），野原壯・郡谷順英（核燃料サイクル開発機構）
4. 断層活動に伴う周辺地下水流動系の変化に関する数値解析的検討・・・・・・・・ 47
一野島断層周辺の二次元浸透流解析一
大澤英昭（核燃料サイクル開発機構），佐藤努（独立行政法人産業技術総合研究所），古屋和夫・児玉敏雄（佐藤工業株式会社），酒井隆太郎（応用地質株式会社）
5. 日本周辺海底地質図および音波探査プロファイルデータベース・・・・・・・・ 49
中尾征三・湯浅真人・倉本真一・長谷川功（独立行政法人産業技術総合研究所），中司昇（核燃料サイクル開発機構），高木俊男（核燃料サイクル開発機構，現サンコーコンサルタント株式会社），長谷川正・畑山一人（総合地質調査株式会社）
6. 野島断層3次元・2次元高分解能反射法地震探査・・・・・・・・・・・・・・・・ 51
河村知徳（東京大学地震研究所），太田陽一（株式会社地球科学総合研究所），荒井良祐（川崎地質株式会社），小先章三（大和探査技術株式会社），平田直（東京大学地震研究所），伊藤谷生（千葉大学），井川猛（株式会社地球科学総合研究所），石丸恒存（核燃料サイクル開発機構）
7. 間隙水圧の地震時動的挙動解析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55
黒瀬歩（仏エコールポリテクニク），Brouard, B.（仏Brouard Consulting），青木和弘・前川恵輔（核燃料サイクル開発機構），川村淳（三菱マテリアル資源開発株式会社）

<火山>

8. 日本の第四紀火山カタログ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 57
第四紀火山カタログ委員会：宇井忠英（代表者，北海道大学），荒牧重雄（東京大学名誉教授），河内晋平（信州大学，故人），小林哲夫（鹿児島大学），小山真人（静岡大学），佐藤博明（神戸大学），高橋正樹（日本大学），千葉達朗（アジア航測株式会社），津久井雅志（千葉大学），林信太郎（秋田大学），梅田浩司・湯佐泰久（核燃料サイクル開発機構）
9. 第四紀火山地形解析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 63
向山 栄・猪股隆行・榎田祐子（国際航業株式会社），梅田浩司（核燃料サイクル開発機構）

| | |
|--|-----|
| 10. 全国地温勾配図の作成 | 67 |
| 伊達二郎 (財団法人新エネルギー財団), 高橋洋 (三菱マテリアル資源開発株式会社), 矢野雄策・田中明子・高橋正明・大久保泰邦・笹田政克 (独立行政法人産業技術総合研究所), 梅田浩司・中司昇 (核燃料サイクル開発機構), 小松亮 (核燃料サイクル開発機構, 現地熱エンジニアリング株式会社) | |
| 11. 貫入岩体が地質環境に与える熱的・力学的影響の調査 ー成果と今後の課題ー | 73 |
| 棚瀬充史・水落幸広 (住鉱コンサルタント株式会社), 小松亮 (核燃料サイクル開発機構, 現地熱エンジニアリング株式会社), 梅田浩司 (核燃料サイクル開発機構) | |
| 12. 温泉地化学データベースの作成 | 77 |
| 小松亮 (核燃料サイクル開発機構, 現地熱エンジニアリング株式会社), 黒墨秀行・福田大輔・浅沼幹弘 (地熱エンジニアリング株式会社), 梅田浩司 (核燃料サイクル開発機構) | |
| <隆起・沈降・侵食, 気候・海水準変動> | |
| 13. 河岸段丘から推定した河床高度変化の歴史 | 82 |
| 高木俊男 (核燃料サイクル開発機構, 現サンコーコンサルタント株式会社), 柳田誠・小澤昭男 (株式会社アイ・エヌ・エー), 藤原治 (核燃料サイクル開発機構) | |
| 14. 第四紀テフラ試料の高精度年代測定 ーその試料評価と測定精度・トラック長解析を中心としてー | 86 |
| 檀原徹・岩野英樹 (株式会社京都フィッシュン・トラック), 藤原治 (核燃料サイクル開発機構) | |
| 15. 日本列島周辺における第四紀後期の気候および海水準の変遷 | 92 |
| 米田茂夫・伊勢明広 (株式会社ダイヤコンサルタント), 藤原治・松末和之 (核燃料サイクル開発機構) | |
| 16. 海岸移動調査のためのジオスライサー地層採取法 | 95 |
| 原口強 (復建調査設計株式会社), 藤原治 (核燃料サイクル開発機構), 高田圭太 (独立行政法人産業技術総合研究所活断層研究センター) | |
| 17. 沈降量分布図 | 102 |
| 高木俊男 (核燃料サイクル開発機構, 現サンコーコンサルタント株式会社), 藤原治 (核燃料サイクル開発機構), 佐々木勝司・川崎 輝雄 (サンコーコンサルタント株式会社) | |
| 18. 日本の海成段丘アトラス | 108 |
| 段丘アトラスワーキンググループ: 小池一之 (代表, 駒澤大学), 町田洋 (東京都立大学名誉教授), 貝塚爽平 (東京都立大学名誉教授, 故人), 米倉伸之 (東京大学名誉教授, 故人), 山崎晴雄 (東京都立大学), 長岡信治 (長崎大学), 前李英明 (広島大学), 八木浩司 (山形大学), 渡辺満久 (東洋大学), 鈴木毅彦 (東京都立大学), 宮内崇裕 (千葉大学), 藤原治 (核燃料サイクル開発機構) | |
| 19. 日本列島における侵食速度の分布 | 111 |
| 三箇智二 (日鉱探開株式会社), 藤原治 (核燃料サイクル開発機構), 大森博雄 (東京大学) | |

特別講演

地球システム変動の理解と予測・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

平 朝彦（東京大学海洋研究所教授）

地球システム変動の理解と予測

平 朝彦（東京大学海洋研究所 教授）

地球システムとは、

人類が記録した最も感動的な映像の一つは月面から見た地球の姿であろう。荒涼とした灰色の月世界の地平のかなた、宇宙に浮かぶ地球は、海の青、雲の白、そして大陸の茶が混じったとてつもなく美しい世界を作っている。我々は、この映像によって、地球が一つの生命体とも言うべきものであり、地球全体を考える視点が大切であることを明瞭に認識できた。

地球は決して均一な物質から構成されているわけではなく、明瞭な差異のある物質世界が互いに相互作用をして一つのシステムを構成している。地球をシステムとしてみた場合に、大きく外側から内側へ、磁気圏、大気圏、海洋圏、固体地球圏から構成される。これにさらに生物圏、人間圏を構成要素として加えることができる。一つの圏は他の圏とは異なる物質要素から構成されており、その圏の中でも複雑な運動と物質変化が互いに密接な関係をもって起こっている。同時にそれぞれの圏はお互いに物質やエネルギーのやり取りをしており、地球全体としての挙動を規定している。それぞれの圏の構成要素の大きさや役割は、時間とともに変化しており、現在の地球はその相互作用の結果として形成されてきた。

地球史的スケールでの変動

地球システムの挙動は、様々な時空間スケールで見ることができる。地球史的なタイムスケールでは、地球は水惑星で二酸化炭素大気の星から大陸惑星で酸素大気の星へと変化してきた。最近数億年の時間スケールでは、大陸の分裂から集合への時代であることが分かる。古生代後期に形成された最後の超大陸パンゲアが分裂し、大西洋が出来始めた白亜紀は、もっとも最近に地球を訪れた水惑星時代である。あるいは「先祖帰りの時代」ということができるかもしれない。この時代は次の特徴を持つ。

- (1) マントル内部に巨大なブルームが発生し、激しい火山活動が引き起こされた。プレート運動も加速し現在の2倍近くになった。その結果、海洋底は浅くなり、海水が大陸域に進入した。
- (2) ヨーロッパ、北アメリカ、アフリカに浅い海が拡がり、森林は絶滅し、河川は

衰退して、海は貧栄養状態になった。火山ガスのもたらす二酸化炭素が大気に蓄積し、地球は温暖化していった。

- (3) 海洋の温度成層は著しく、深層と表層との循環が停滞し、海洋表層は極度に貧栄養化した。成層した海洋では、生物基礎生産はシアノバクテリアや光合成細菌、化学合成細菌などにとって変わった。生産された有機物は無酸素の海底に蓄積し、やがて、現在の石油資源の源となっていった。

温暖な白亜紀から第三紀へと地球環境は寒冷化へと向かっていった。この変化は全体としては、ゆっくりしたものであった。長期的な気候の変化には、炭素循環の変遷が深く関わっていた。白亜紀の温暖気候からの寒冷化への変化は、次の過程によると考えられる。

- (1) マントル活動の低下とともに脱ガスが減少し、また海底が深くなり、陸地が露出するようになった。
- (2) ヒマラヤーアルプス山脈の形成や西太平洋における島弧の形成によって地殻の風化量が増加した。このために海に栄養塩が多く運ばれ、炭酸カルシウムの堆積および生物生産が増加して有機物の埋積が進み、大気二酸化炭素濃度が低下した。
- (3) 新生代においては、幾つかの温暖／寒冷化のフェーズを経ながら、約290－240万年前に、北半球に大規模な氷床が発達し、第四紀の氷河時代が訪れた。

第四紀の変動

第四紀の変動は、以上のような長い時間の変動と異なり、さらに数万年より短いスケールで理解されるようになってきた。この特徴は次のようにまとめることができる。

- (1) 北半球の氷床は、大きくはミランコビッチサイクルに対応して、10万年、4万年等の周期で衰退を繰り返してきた（氷期－間氷期サイクル）。氷床の変動は、気候変動や海洋の循環そして生物生産の変動を伴って起こった。また、大気二酸化炭素濃度も氷期に減少し、間氷期に増加する変動を起こした。気候変動では、数100年スケールの激しい変動も存在することが分かってきた。
- (2) ミランコビッチサイクル（とそれに伴う海水準変動）は、同時に、地球磁場変動、マントル流動と対応しており、地球内部にも周期的な変動が励起された。第四紀には火山活動が汎世界的に活発になり、また一部の地域ではテクトニクスが活動的になった。

新しい地球システム変動観

以上をまとめると、「地球システムは様々な時間や空間スケールにおいて、我々が想像していた以上に密接に、固体地球内部と表層が相互作用を行って変動している」という新しい地球システム変動観が提示される。さらに近年発見された地下微生物圏の役割や、新しい炭素リザーバーとしてのメタンハイドレートの変動などを加味すると、上記の地球システム変動観は、さらに確固なものとなってきた。このような考え方は、地球システム変動の理解と予測に次のような方針を与える。

- (1) 地球システム変動においては、様々な時空間スケールの現象が重なり合い、さらに連関している。したがって、地球システム変動を理解するためには、様々な時空間スケールの現象の要素を解きほぐし、それらの関係について、詳しく調べる必要がある。
- (2) 上記の考え方は、局所的な地質環境の理解および予測においても、地域規模さらに地球規模の変動と切り離して考えることは困難であることを示唆している。局所的な地質環境は、その地域の地質学的な発達史やグローバルな気候や海水準そして固体地球変動の影響を強く受けている。
- (3) 地質環境の将来予測研究は、統合国際深海掘削計画(IODP)などに代表される地球システム変動の基礎研究分野と連携しつつ、より学際的かつグローバルな研究活動として展開する必要がある。

セッション1：我が国における火成活動研究

- ①わが国の火山の特徴：「火山カタログ」・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
林 信太郎（秋田大学教授）
- ②火山カタログを利用した気象庁の火山情報の改革計画・・・・・・・・ 8
宇井 忠英（北海道大学教授）
- ③地下の温度構造：「日本列島地温勾配図」・・・・・・・・・・・・ 10
笹田 政克（独立行政法人産業技術総合研究所総括研究員）

わが国の火山の特徴：「火山カタログ」

林信太郎（秋田大学教育文化学部）

■第四紀火山カタログ作成の目的と第四紀火山カタログ委員会

第四紀火山カタログは、日本列島の第四紀における火山活動を総括し、特にマグマが地表へ噴出する様子を時間的空間的に、なるべく定量的に記述することを目標として作成された。作成の中心になったのは第四紀火山カタログ委員会（宇井忠英（代表者）・荒牧重雄・梅田浩司・河内晋平・小林哲夫・小山真人・佐藤博明・高橋正樹・千葉達朗・津久井雅志・林信太郎・湯佐泰久）で国内の大学、民間研究者および核燃料サイクル開発機構からの代表から構成されている。また、各データの作成については 68 名の火山研究者の協力を得た。講演者は、一作成委員として第四紀火山カタログ作成に関わったので、火山カタログの作成の過程やその活用について述べていきたい。

日本列島における第四紀火山の情報を収録したデータベースとしては、IAVCEI の前身が刊行した「活火山カタログ」や気象庁が刊行した「日本活火山総覧」、地質調査所が刊行した第四紀火山全体を収録した「日本の火山（第2版）」があったが、いずれも対象あるいは収録項目が限られていた。

そこで、新カタログ作成にあたっては対象を第四紀火山とし収録項目も強化した。個々の火山に関する膨大な論文や研究報告書を検索し、情報の不足する火山については放射年代測定を行った。その結果第四紀火山と認定された火山は 348 個となり、「日本の火山（第2版）」当時の 245 個よりも大幅に増加した。

このようにして作成されたカタログは 1999 年 12 月に日本火山学会を通して「日本の第四紀火山カタログ Ver. 1.0」として CD-ROM の形で公開され、CD-ROM 作成に要した実費で頒布されている。

■火山カタログの内容-二重構造

本カタログは

- 1 「日本の第四紀火山カタログ」
- 2 「日本の第四紀個別火山体カタログ」

という二つのデータベースから成り立っている。

「日本の第四紀火山カタログ」は 348 個の第四紀火山のカタログで、火山番号・経度・緯度・噴火年代・レコード番号・個別火山体名へのリンクからなる。1 個のレコードとしてまとめた一つの「火山」の多くが、実際には複数の火山体の集合である。

「火山」を構成する個別の火山体の情報を記載したのが「日本の第四紀個別火山体カタログ」であり、個別火山体名・火山における位置・火山体の分類・経度および緯度（地形的あるいは主火道）・最高点高度・基底高度・噴出物の分類・岩石名・分析値・文献からなっている。

○火山カタログによる成果

火山カタログデータの解析は現在も進行中である。日本の火山の時空分布に関する中間的な成果についていくつか紹介したい。

○成層火山の活動史に見られる共通性：火山活動史が詳しい明らかになった火山については、1) 多くのものの活動の期間が、10-100 万年であり、2) 10 万年以上の休止期間を挟み何度かの活動期をくり返す、という共通性がある。例えば東北地方の焼石火山では、100 万年前、70 万年前～40 万年前、7 万年前～5 万年前の3つの活動期が認識できる。

○火山活動の時空的断続性：日本列島をいくつかのセグメントに区切ってみると個々の地域では火山活動が断続であることがおおい。例えば、中部日本、岐阜・福井・石川県にまたがる両白山地では、150 万年前～140 万年前、120 万年前～70 万年前、60 万年前～現在までの3つの活動期が認識される。日本の火山活動は定常的に沈み込むプレートに由来していると考えられているが、定常的な沈み込みから断続的な火山活動をもたらすメカニズムについて検討が必要である。

○火山活動域の移動現象：詳細な調査が行われた地域では、火山活動域の移動現象が認められることがある。例えば東北地方の背弧側（大陸側）では100 万年程前から火山活動域が背弧側にひろがり現在でもその傾向が続いている。拡大の速度は14cm/年と大平洋プレートの沈み込みよりも速い。

○火山クラスター：東北日本の火山フロント付近の火山は密集して、7つのクラスターを作る。それぞれのクラスターは数個から数十個の成層火山と数個以内の大カルデラ火山からなる。このような火山の密集地域を火山地域と林ほか（1997）は呼んだ。北から順に恐火山地域、八甲田-十和田火山地域、仙岩火山地域、栗駒-鬼首火山地域、蔵王-船形火山地域、磐梯-安達太良火山地域、会津火山地域の7火山地域が認識できる。火山地域に含まれず、孤立して存在するフロント火山は七時雨、青ノ木森、焼石の3火山にすぎない。7つの火山地域は火山フロント沿いに60-100kmの間隔をおいて分布し、個々の火山地域の第四紀を通じての噴出量はそれぞれ30～400km³、面積は400km²～10000km²である。これらの火山地域の分布は後期中新世～鮮新世カルデラのクラスター（佐藤・吉田、1993）とほぼ対応し、山元（1992b）が述べたように現在の火山分布の大枠が後期中新世にまで遡れることを示している。また、背弧側の火山は火山クラスターの西側に分布する傾向がある。

○フロント火山クラスターの分布と大地形、活断層との対応関係：東北地方の第四紀火山クラスターの分布と大地形や活断層の分布は良く対応している。火山フロントの背弧側には横手盆地などのいくつかの盆地が分布している。盆地は火山クラスターの背後ではなく、火山クラスターの分布と相補的である。また、これらの盆地の東縁は活断層により区切られている。このような関係は火山活動によってもたらされたリソスフェアの不均質構造に起因すると考えられる。

■今後の課題

○火山カタログ自体の課題

火山カタログ自体は一応の完成を見たが、個別火山体カタログは完成にはほど遠い内容にとどまり、完成に向けた努力が必要である。また、次々と明らかになる火山活動史に関する知見を取り入れてバージョンアップする必要もある。今後、火山カタログ事業は火山学会に引き継がれる予定である。

○地層処分へ向けての課題

今回のカタログ作成で成層火山やカルデラ火山の活動パターンはある程度明らかになったと考える。しかしながら、国民に責任をもって地層処分を行うためには、さらなる研究が必要である。次の3点が重要であると考えられる。

1) 単成火山群の活動のパターンを明らかにし、火山活動の予測性を高める。

単成火山群は活動域が広く、新しい地点で活動が始まるという特徴を持つ。また、単成火山群の卓越する地域では火山フロントがはっきりせず、海溝側に火山活動域が拡大する可能性もある。したがって、地層処分へ向けては単成火山群の活動の時空分布パターンについてより詳細な解析を行い将来の火山活動の予測性を高める必要があると考える。

2) 成層火山や大カルデラ火山についても過去数 10 万年の活動パターンを精査する必要がある。

火山カタログの完成で、新しい火山が既存の火山に対してどのような位置に出現するのがある程度の予測はできる。しかし、火山カタログはまだ十分ではなく、既存の火山の下底部にさらに古い火山が発見されたり、火山カタログに記されていない第四紀火山が発見されたりしている。過去の火山活動、特に過去数 10 万年に出現した火山の精査が必要である。

3) 火山フロントよりも海溝側の温泉の成因を明らかにする必要がある。

沈みこむプレートの脱水反応は浅いところで起き、その上には含水カーテンができることが最近の岩石学的研究によって明らかにされている。この位置は火山フロントより海溝側よりである。紀伊半島などの火山フロントからはずれた地域に温泉の起源をこれに求める火山学者もある。これらの温泉の起源について研究を行いなぜそこに温泉があるのかを実験岩石学的研究も含めて調べる必要がある。

火山カタログを利用した気象庁の火山情報の改革計画

宇井忠英（北海道大学大学院理学研究科）

気象庁は活火山の噴火を監視して情報を発信する役割を担っている。特に活動が盛んな約 20 の火山については 24 時間体勢で常時監視し、他の活火山についても機動観測などによる監視を行っている。火山活動が活発になった場合には緊急火山情報、臨時火山情報、火山観測情報、定期火山情報を発表してきた。また、火山情報資料集として活火山総覧を刊行している。全国の火山活動の判断などを行うために噴火予知連絡会が設置されている。

従来各地方气象台や測候所で行われていた監視業務は本年 3 月から札幌、仙台、東京、福岡の 4 つの管区气象台に火山監視・情報センターが設けられて集中的に行われるようになった。また情報発信の内容や活火山の定義の再検討などが進行中である。

活火山の定義については、約 1 万年以内に火山活動があったと思われる火山を活火山とすることとした。地質情報を詳しく検討するために、噴火予知連絡会の活火山ワーキンググループの下部組織として外部の地質専門家を加えた検討会を設置して、活火山候補について具体的な選定作業を進めている。

現在気象庁が使っている日本の活火山の定義は“過去 2000 年以内に噴火した火山及び現在噴気活動が活発な火山”である。しかし日本に数多く存在する成層火山の中には、2000 年を明らかに超える活動休止期間を経て噴火活動を再開したケースが知られており、活火山として未指定の火山が噴火を開始する事態がありうる。そこで海外での定義、スミソニアン研究所のデータベースや既に公表されている海外の研究報告を参照して、活火山を次の様に再定義することとした。“おおよそ過去 1 万年以内に噴火した火山、及び現在噴気活動が認められる火山を活火山とする。”

個別の火山を検討する基礎資料として、「核燃料サイクル開発機構地層科学研究検討会火山検討部会」の協力を得て作成した第四紀火山カタログ（日本火山学会が平成 11 年に CD ROM で出版）から、約 1 万年以内に火山活動があったと思われるが現在活火山とはなっていない 60 余りの火山を検討対象として抽出した。

これらの火山について、地質調査に基づく噴火履歴情報、噴火年代測定等を原著論文にあたり、個々の記載を検討した。また現役の研究者からも直接情報を得た。更に空中写真と地形図で火山地形の検討を行って、活火山候補を選定した。選定の際の留意事項を次に示す。

- 1) 海底火山については、変色水および熱水活動が確認された水深が 500m より浅い火山を活火山とした。
- 2) 活火山の活動年代は、暦年較正しない放射年代値で判断した。ただし、原著者が暦年較正している場合はこれをそのまま用いた。
- 3) 大規模な火砕流の発生とそれに伴うカルデラ形成噴火の再来周期は数万年程度なので、新しい定義をそのまま当てはめられない。しかし、大部分のカルデラ内にはポストカルデラの火山があり、それが活火山指定対象になっていれば実用上活火山の見落としにはならないと判断した。
- 4) 直径 3km 未満の小型のカルデラ火山が独立して存在するケースは、噴火を繰り返すことがあるので、1 万年という定義を多少外れても活火山とした。
- 5) 溶岩ドーム群を作る火山は噴火間隔が一般に成層火山より長いので、1 万年という定義を多少外れても活火山とした。
- 6) 単成火山群について個別の火山名で指定することは無意味である。火山群として広域一括した。
- 7) 活火山の名称と範囲は地元での火山としての認識も考慮した。火山周辺地域で噴火に際して防災・減災上の混乱を生じないように配慮が必要なためである。従って学術上の見地からの個々の火山の認識とは異なる場合もある。

新しい定義によると活火山は約 110 となる。このほか、地質情報や年代測定データが不足するために判断を保留する火山が約 30 ある。

新しい定義に基づいた個々の活火山については長期的な視点での活動度をいくつかの基準で評価して、重要度のランクを付ける予定であるが、その詳細は今噴火予知連絡会の活火山ワーキンググループで検討中である。ランク付けは火山の監視観測計画を効率的に行うため、災害予測図作成の優先順位をつけるため、そして火山の地元における火山防災の重要性の目安として用いることを念頭において行うものである。ランクがついた新しい定義による活火山リストは 2003 年 2 月に公表することが目標となっている。

海外のいくつかの火山では火山活動度をリアルタイムで示すため、4 ないし 6 段階のカラーコードあるいは数値コードが公表されている。このような情報を日本の火山でも発信できるようにするため、現在浅間山、伊豆大島、阿蘇山、雲仙岳、桜島で試験運用が気象庁内部で行われている。数値コードとその意味は例えば、0：静穏、1：噴気や群発地震が最近ある、2：噴火の可能性を示す異常を検出、3：小噴火の可能性あり、4：火山の周辺に影響の及ぶ噴火の可能性あり、5：火山周辺に重大な影響のある噴火の可能性があるか既に発生。

地下の温度構造：「日本列島地温勾配図」

笹田 政克・矢野雄策（独立行政法人産業技術総合研究所）

日本列島の地温勾配分布を明らかにする目的で行った全国の坑井データのコンパイル化による意義，成果，活用法などについて紹介する．今回講演する内容は，図およびデータ集を含め地質調査所より既に公表されているので，詳細はそれらを参照してほしい（矢野ほか，1999；田中ほか，1999）．

近年，日本の多くの地域で地熱開発や温泉開発に伴って深部ボーリングが実施され，地下温度情報が蓄積されてきている．また，それ以外にも，石油・天然ガス・金属資源探査や防災等を目的として掘削された坑井で温度が測定されているものも多く存在する．北海道立地下資源調査所(1995)の北海道地温勾配図はこのような坑井温度データの広範な収集を行い作成されたものである．今回は日本列島全体について坑井データを収集し，これまでで最も多い 1,936 点の坑井を用いた新しい地温勾配図を作成した．地球科学の基礎データとして，また日本列島の地熱資源の賦存量や火山の活動度などを評価する実用的データとして利用に供することが目的である．日本列島の温度構造を示す図としては地殻熱流量図（松林他，1992，Geological Survey of Japan and CCOP, 1997）があるが，地殻熱流量図に比べて地温勾配図はより高い熱活動を示すデータも含むものである．

地温勾配図は坑井データを用いて作成した．坑井（井戸・ボーリング孔等ともいう）はさまざまな目的で掘削される．地下水採取用の坑井など，深度数 10m の浅いものも含めると日本には相当多数の坑井が存在し，地質調査所では既に 8 万件のデータベースを進めている（丸井，1998）．しかし本図のために用いた坑井の条件，すなわち深度 300m 以上で，かつ坑底付近で温度データが残されているものと限定すると，地熱・石油等の資源や温泉の調査を目的としたものが主となり，今回の調査で存在を把握できたものは日本で 2,000 本強程度である．なお，本図作成において坑井深度を 300m 以上とした理由は基本的には信頼性の低い地温勾配値を除くことが目的である．

今回，新たに地温勾配図の作成を行うにあたり，従来よりもさらに広範にデータを収集した．すなわち，上述したこれまでの地温勾配図の弱点は，国が行った地熱調査における地熱調査井のデータが大半を占めていた点である．国が行う地熱調査井掘削は地質調査や物理探査等の結果に基づく有望地域で行われる．その結果，高温異常地域にデータが偏在していたことになる．全国の地温勾配図の精度向上のためには，高温異常域以外の地域のデータをより多く取得することが重要である．

このデータ収集の結果，コンパイルされた坑井は総計 1,828 本となった．またこれ以外に従来から集められてきた地殻熱流量のデータ（山野他，1997）108 点を併せ，総計 1,936 点を地温勾配図にプロットした．地殻熱流量データの一部には坑道データも含まれている．北海道中央部，東北地方東部，中国・四国地方南部，九州地方東南

部ではデータ密度は比較的小さい。坑井の種類別の内訳は温泉井（全体の約 60%）が最も多く、続いて地熱井（全体の約 25%）である。なお、今回、存在を確認したデータの中で公表許可を得られないものが 200 本以上あり、それらは使用していない。

地温勾配は深度対温度のデータ（温度プロファイル）に基づいて算出される。深度対温度の関係が直線的な関係（比例関係）にある場合、この温度プロファイルは伝導タイプと呼ばれ、地層中の流体流動の影響を受けていないと考えられる。この場合、地温勾配は温度プロファイル（直線）の勾配そのものである。しかし、深い坑井、特に高温異常地域では地下の熱水流動が温度プロファイルに影響を及ぼしている場合が多く、温度プロファイルは直線ではなく曲線である場合が多い。この場合、地温勾配は深度によって変化するので、その地点で一義的には定められない。

しかし、今回はなるべく多くの坑井データを情報として生かす意味で、温度プロファイルが直線的でない場合も含めてその坑底温度（あるいは最高温度）とその深度を情報とし、地表の基準温度（気温）との差から地温勾配値を算出した。坑底深度（最高温度を用いる場合はその深度）300m 以下の坑井は地温勾配の算出対象から除外した。この理由は、浅い坑井では温度測定誤差が地温勾配に大きく影響すること、空隙率や浸透率が深部に比して比較的大きく、地下の熱水流動の影響が大きいこと等である。ここでも最小限の深度をどう取るかは任意性のある問題であるが、地殻中の地下数 100m から 2,000m 付近の間の温度勾配値を求めることを目標にし、多くの 500m 級坑井のデータなど、なるべく多くの情報を生かす点と、逆に値の信頼性の低い、浅い坑井は除外するというトレードオフを経験的に判断し、300m を最小深度とした。

2,000m 近い坑井の坑底付近では空隙率・浸透率の減少に伴って流動の影響は相当小さくなり、中間深度で流動の影響を受けていても、坑底温度を坑井深度で割った地温勾配値は、中間深度の対流系が無い場合の伝導的な地温勾配の近似値であると考えられる。1,000m 程度の坑井では、空隙率・浸透率がある程度大きいので、坑底が対流域の途中にあることも多い。

深度 0m の温度を表す基準温度をどのように取るかも議論が分かれる。地表の平均気温は北海道と九州では 10℃近い差がある。1,000m の坑井で坑底温度が 50℃の場合、基準温度を 10℃とすると 40℃/km の地温勾配値となるが、基準温度を 20℃とすると 30℃/km となる。そこで全国一律の基準温度を用いるか、地域ごとに異なる基準温度を用いるかが問題となる。ここでは、地下の温度情報を地温勾配値として表現する以上は各測定点の地表及び坑底の温度を用いるべきと考え、基準温度として各坑井の最寄りの気象官署における平年気温をその坑井の基準温度とした（田中他、1999）。

地温勾配図から、高温異常の背景となるバックグラウンドの値（低い地温勾配値）を読み取ると、北海道の日高西部、三陸海岸周辺、関東平野東部、関東山地周辺、濃尾平野周辺、琵琶湖周辺、中国南部、四国、九州北部と中央部の非火山地帯の各地域では 20℃/km 程度の低い値が分布し、北海道や東北の広い部分、北陸、中部、近畿南部、中国北部、九州中央部、九州南部の各地域では 30～50℃/km のやや高い値が分布して

いる。また、80°C/km から 100°C/km を超えるような高温異常を示すデータは局所的に密に重複している場合が多く、これらは北海道、東北、九州中央部及び南部に集中している。これは国による地熱調査、特に新エネルギー・産業技術総合開発機構が行なっている地熱開発促進調査による高温の地熱坑井が各地熱地域で掘削されていることによる。これらは火山岩類の分布とも関係が深いことは背景に描いた地質図から読み取れる。

文献

Geological Survey of Japan and Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (CCOP) (1997) Heat flow map of East and Southeast Asia, 1:5,000,000 Miscellaneous Map Series 36, Geological Survey of Japan.

北海道立地下資源調査所(1995)60万分の1北海道地温勾配図。

丸井敦尚(1998)地質調査所版全国井戸・水文データベースの概要と新版「いどじびき」について。地質ニュース 522, 32-36, 地質調査所。

松林修・大久保泰邦・山崎俊嗣・上嶋正人・宮崎光旗(1992)日本の熱流量図及びキュリー一点深度図。日本地質アトラス(第2版), 地質調査所。

田中明子・矢野雄策・笹田政克・大久保泰邦・梅田浩司・中司昇・秋田藤夫(1999)坑井深度までの日本の地温勾配値。地質調査所月報。

山野誠・木下正高・山形尚司(1997)日本列島周辺海域の地殻熱流量分布。地質ニュース, 517, 12-19。

矢野雄策・田中明子・高橋正明・大久保泰邦・笹田政克・梅田浩司・中司昇(1999)日本列島地温勾配図, 1:3,000,000 地質調査所。

セッション2：我が国における地質構造研究

- ④日本列島の活断層：「活断層詳細GISマップからわかること」・・・・・・・・ 13
中田 高（広島大学教授）
- ⑤日本列島の生い立ち：「日本列島周辺海域の構造発達史」・・・・・・・・ 16
徳山 英一（東海大学海洋研究所教授）
- ⑥日本列島の海岸線：「日本の海成段丘アトラス」・・・・・・・・ 23
町田 洋（都立大学名誉教授）

日本列島の活断層：「活断層詳細 GIS マップからわかること」

中田 高（広島大学）

1. 活断層詳細 GIS マップ作成の意図

1995 年兵庫県南部地震以来，日本においては活断層に関する詳細な情報が急速に整備されつつある．活断層の分布や位置に関する情報を整備したものには，国土地理院が人口の集中する都市圏に発達する活断層や第一級の活断層に関して 2 万 5 千分の 1 の「都市圏活断層図」を刊行している．東北日本に発達する逆断層を中心として，完新世に活動した活断層の運動特性を解明し，地図化しようとする研究も進んでいる．

このような状況のもとで，長年にわたって活断層研究にかかわってきた研究者が中心になって活断層マップワーキンググループをつくり，日本列島全域の活断層の特性について情報を整備し利用しやすい形で整備するために，新たに全国一律に 4 万分の 1 の空中判読し，その結果を 2 万 5 千分の 1 の地形図に記載した．また，個々の地点における活断層の変位様式や変位量，変位基準などの属性データを作成した．これからの日本の活断層研究および地震学・地震工学などの関連分野の基礎的なデータとすることを目標として，これらのデータをデジタル化して GIS マップとして整備した．この作業を通じて，日本の活断層の分布に関する新しい知見が多数得られた．

2. これまでの活断層図とどこが違うのか？

活断層マップワーキンググループにおいては，活断層を最近数十万年間に概ね千年から数万年の周期で繰り返し活動した証拠が地形的に認められ，今後も活動を繰り返すと考えられる断層と定義し，本グループのメンバーが主体となって調査している国土地理院の「都市圏活断層図」の凡例にならって (1) 活断層；位置が明確なもの，(2) 位置や不明確な活断層；活断層のうち活動の痕跡が侵食や人工的な要因で改変されたため，位置および延長が明確には特定できないもの，(3) 活撓曲；活断層のうち変位が軟らかい地層内で拡散し地表には段差でなくたわみとして現れたもの，(4) 伏在活断層；活断層のうち最新の活動時以後の地層で覆われ変位を示す地形が直接現れていない部分，(5) 推定活断層；地形的な特徴により活断層の存在が推定されるが現時点では明確に特定できないもの，(6) 活褶曲；現在も続いている地殻変動により生じている波状地形，その他 (7) 変位を示す河川のトレースや (8) 地形面の傾動方向を示した．

このように認定した活断層を 200 万分の 1 活断層図に予察的にまとめ，本グループによる活断層判読結果と「新編日本の活断層」の活断層図を比較した．大まかにみると，活断層の密集する地域と広い範囲で活断層が存在しない地域が両図に共通して認められ，活断層に偏在性があることが確認される．

また，両図を詳細に比較すると，多くの違いがあることがわかる．まず，活断層の定義の違いから，後者で活断層と認定され，前者では認定されなかったものがあり，これらの断層のなかには最近の数十万年間に活動を停止した可能性の高い断層が存在することが示唆される．この例として，断層露頭はあるが断層変位地形が全く認められない第

四紀断層があげられ、近畿地方中部の大阪層群や古琵琶湖層を変位させる断層をあげることができる。

一方、「新編日本の活断層」などでこれまで認定されなかった活断層が数多く発見されている。それは、1980年に「日本の活断層」出版以降、新たな活断層に対して地形・地質調査が地道に行われてきた成果でもある。例えば1978年から行われてきたトレンチ調査では、断層変位地形と断層の位置の詳細な検討が空中写真と現地で繰り返し行われてきた。その結果、沖積地のわずかな崖でも見逃さないという判読力が養成されてきた。そのために、縮尺約1/4万の空中写真に加え、大縮尺（カラー）写真や大規模人工改変前の縮尺約1/1万米軍写真の判読なども繰り返し行われてきた。こうした活断層研究者の20年来の調査技術向上の努力の結果、1980年の活断層図を全国一斉に再判読して見直す作業が可能となったものである。

3. 活断層詳細 GIS マップからなにがわかるのか

活断層の正確な位置：活断層詳細 GIS マップの意義のひとつは、地球科学以外の地震工学・都市工学などの分野で地震防災の立場から重要な情報となってきた活断層の位置の情報を飛躍的に高めることにある。本ワーキンググループの新しい試みとして、活断層が記載された2万5千分の1の地形図をシートフィーダー型スキャナ（200dpi=0.13mm/pixel）でそのままコンピュータに取り込み、CADソフトを用いて地理座標を与えた後、ベクトルデータとしてデジタル化した。スキャンした地形図の総数は約1300枚であった。このようにして取得された詳細活断層判読図のデジタルデータは、例えば国土地理院刊行の数値地図25000（地図画像）などの地図データと地理座標をそろえて重ねあわせ、表示・印刷することで、日本全国の大縮尺活断層分布図の作成と利用に貢献するデータとなりうる。

活断層の分布特性：GISマップの特徴として当然のことではあるが、活断層を属性データごとに地図上に瞬時にプロットしたり、属性データを組み合わせて分布の特徴を検討することが可能である。これによって、断層の規模や変位様式、活動度などを組み合わせて地図上に表現し、日本列島の活断層構造区を従来にまして正確かつ詳細に検討・設定することが可能となる。この結果は、地体構造図や地震構造区分図などの作成に有力な情報を提供することになるほか、他の多くの地球物理的データと比較することによって、様々な分析が可能となろう。

新たな活断層が出現する可能性：断層変位の累積性から個々の活断層の活動開始時期を明らかにし、これをGISソフトを用いて日本列島全域において比較する。これによって、最近の地質時代にどのように活断層が出現し発達してきたかを検討することができる。これに基づいて、地質学的に近い将来、新たに活断層が出現する可能性はあるのか否か、あるいは出現するとしたらどこに発現する可能性が高いのかなどを検討することができる。また、活断層に沿って開始時期を比較検討することによって、活断層の末端は成長するのか否か、など地震防災上極めて重要な問題に解答を得ることが可能となろう。

起震断層系の設定：今回の判読作業によって認定された活断層線は、起震活断層系の設定を念頭に主として連続性をもとにグルーピングされた。しかし、これまでの研究例で一般に用いられていた活断層の相互の距離に基づく画一的な基準は採用しなかった。今回は、上記(1)の活断層の間に(2)の位置やや不明の活断層や(3)活褶曲、(4)の伏在断層が連続的に配列している場合は、連続する活断層としてグルーピングし、グルーピングされたこれらの断層線が、屈曲やステップをする場合、出現位置や屈曲・ステップの相互関係、断層活動の様式、あるいはグルーピングされた断層の独立性の高さなどを考慮してセグメント区分を推定した。また、断層の分岐形態や横ずれ断層に伴う縦ずれ変位分布などの形態的特徴をセグメント区分の基準としたものもある。

このように、断層位置の推定部分（位置が不明瞭な区間）や伏在部（地表に崖が見えない）の記号を新たに導入したことによって、活断層の証拠が確かな区間のつながりはより鮮明になり、結果として主要断層（帯）の分布がわかり、また主要断層と枝断層の配置なども明らかになった。これによって、ある地域でどの活断層が起震断層として重要なのかを、これまでの活断層分布図よりもはっきり識別することができる。今後は、これらの主要活断層帯に対して、その活動度・変位の累積過程を断層沿いに、あるいは活断層帯ごとに、諸元として詳細に判読調査を行うことが重要である。これによって、断層の破壊過程を解明する手がかりが得られると期待される。

日本列島の生い立ち：「日本列島周辺海域の構造発達史」

徳山英一（東京大学海洋研究所）

・海域地質構造マップWG 一同

日本列島周辺海域のネオテクトニクスを明らかにする目的で、全海域に亘る地質構造マッピングを実施した（徳山他，2001）。本作業は石油公団が実施した大陸棚石油・天然ガス資源基礎調査で取得したマルチチャンネル音波探査記録を用いた新たな解釈が中心であり、それに既存の報告を統合するものでもある。その結果、日本周辺海域のネオテクトニクスは遅くとも 6Ma 以降に確立したものであり、以下の 9 つの構造区に区分することが出来た。

1) オホーツク構造区

本域堆積盆地の構造は、日高帯の構造に沿った南北の構造であり、3 帯の隆起帯に挟まれ、新第三紀以降に枝幸一紋別堆積盆地と網走一北見大和堆堆積盆地が形成されている。枝幸一紋別堆積盆地は、中新世後期に始まる基盤岩の緩慢な沈降で形成され、それ以降、大きな変動がみられない。中央の紋別隆起帯は、南の常呂帯に連続する東への傾動地塊である。その運動は、第四紀まで及んでいると考えられる。鮮新世後期以降の北見大和堆の急激な隆起は、根室帯が東から衝突したことによる圧縮応力の発生によるものと解される。北見大和堆の南北構造は、網走から南の陸域に連なっている。

本域の東西方向の圧縮応力は、鮮新世後期以降に形成され（徳山他，2001）、第四紀に沿岸域の隆起があり、堆積盆地の縮小、分化が起こった。これは千島海溝に沿った千島弧の構造運動と調和的である。

南北方向の構造は、網走一北見大和堆堆積盆地にも現われている。その東には、新たに知床半島における第四紀火山岩の形成により急斜面となり、海底チャンネルも形成されている。

2) 北海道南海域構造区

後期中新世には、千島弧が西へ移動し、東北地域から渡島半島にのびる東北弧へ近づき、横ずれ断層を伴った圧縮応力の場となった。これは、日高地塊の上昇を招き、その両側に堆積の場が分かれた。衝突に伴う褶曲構造は日高地塊と根室帯西縁辺に起こり、その両側には厚い堆積層が堆積している。第四紀にプレート境界が西へシフトしたが、それ以降、日高地塊がさらなる隆起運動に転じ、第四系の堆積の場に影響を与えている。

日高地塊の上昇は、主に第四紀であるが、その西縁は鮮新世から褶曲構造を形成する圧縮応力の場となっている。常呂帯と根室帯の境界を画するオホーツク海の北見大和堆一網

走構造線の延長が浦幌断層に収斂する。浦幌磁気ベルトは、豊頃付近から東西方向に転じ、根室半島沖に東西にのびる道東磁気ベルト帯となる。その西側に常呂帯の基盤岩類が地塁・地溝構造を形成している。従って、根室帯が鮮新世に東から移動してきて、北海道陸域で衝突し、北部で北見大和堆の隆起をみたが、十勝沖にはその影響がなく、沈降が続いたと解される。これはオホーツク海で湧別帯北方延長に形成された枝幸一紋別堆積盆地にもいえることで、ここでも緩慢な沈降のみが支配している。

以上から千島海溝と日本海溝の結合は、鮮新世であると解されるが、釧路地域の前弧基盤隆起帯と大陸斜面下部の隆起帯は、それ以前に形成された高まりであり、それが現在も千島弧の前弧基盤隆起帯と海溝斜面縁を形成している。

3) 日本海溝構造区

日本海溝では過去にテクトニック侵食による海溝の前進があり、北上・阿武隈地塊と海溝との間に広く分布していた親潮古陸の消滅をみている。この時期は日本海盆の拡大時期であると判断される。中新世中期以降には日本海盆の拡大停止に伴い、海溝斜面域に海溝付加帯が形成され始めたとは判断されるが、大陸斜面域ではゆるい沈降が継続し、前弧堆積盆地の形成をみている。

日本海溝に続く大陸斜面域では、後期中新世以降圧縮応力の場にあるが、全域的には、沈降が維持され、相対的には大陸棚の隆起と大陸斜面域の沈降があった。大陸斜面は比較的平坦であり、そこへ上部中新統、鮮新統がほぼ均一層厚で堆積している。その後、第四紀には大陸斜面域上部と中部の親潮古陸中心部の再隆起が生じている。南域の一部は、後期中新世から隆起が続いている。これらの隆起帯によって第四系の堆積の場が分化している。これらの沈降運動には、差違もみられ、鮮新世の沈降は、北部で大きく、南部で小さい。また、常磐南域には、沿岸域から阿武隈リッジにかけて大きく沈降している。第四紀における堆積盆地の分化は、局所的隆起・沈降の発生によるものであり、北域のプレート境界の日本海側へのシフトが影響している可能性もある。

大陸棚と大陸斜面域には、後期中新世以前に形成されたもの以外に、大きな断層あるいは断層帯は存在しないが、隆起帯周辺には屈曲に伴う変位量の小さい多数の正断層群が新第三系、第四系に発達し、表層断層群を形成している。

4) 伊豆衝突帯構造区

伊豆・小笠原弧衝突帯は火山前線近傍の湾曲構造と火山前線背弧側の多重地殻短縮で特徴づけられる。地殻短縮をになう大構造線（海域中心）として以下の3つを挙げることが出来る。それらは北から①駿河トラフー伊豆半島北部ー北西相模トラフー房総南端の相模

トラフー房総海底崖，②南海トラフー石廊海底谷ー伊豆半島東縁ー北西相模トラフー房総南端沖の相模トラフー房総海底崖，③錢洲海嶺の南縁ー神津島・新島ラインー房総南端沖の相模トラフー房総海底崖である。

①から③までの構造線は現在でも動きうる活構造である。しかし，活動の開始時期が異なるものと推察される。南海トラフ，北西相模トラフは少なくともほぼ3Ma以降に活動的になったものと判断される。駿河トラフについても南海トラフの沈み込みと連動しているものと考えられることから，恐らく3Ma以降であろう。一方，錢洲海嶺の南縁に発達する逆断層は最も新しく，その活動は約1Ma前に開始されたものと考えられている。錢州南縁（逆断層）から連続する神津島・新島ラインは逆断層成分より，左横ズレ成分に卓越し，さらに東方の房総南端の相模トラフ，および房総海底崖は逆に左横ズレ成分を持つ逆断層と考えられる。変動開始時期は，錢洲海嶺との構造的な連続性から推測して，錢州海嶺南縁における活動開始とそれほど年代の差はないと推測される。中間に位置する石廊海底谷から伊豆半島東縁ラインは，その開始時期は3Ma-1Maまでの間と考えられる。また，安房海底谷（房総海底崖南方の相模トラフ）は現在ではほぼ活動を終了しているものと考えられるが，その活動の終息開始時期はやはり3Ma-1Maであろう。

5) 伊豆・小笠原構造区

6.0Ma以降の伊豆・小笠原島弧のテクトニクスと火成活動の変遷史は3つのステージに区分することが出来る。

i) 6.0-3.0Ma（雁行海山列形成ステージ）

現在の背弧域に相当する海域で，雁行海山列を形成する火成活動が活発である。この火成活動は活動域が極めて広範囲であり，火山フロントに集中する現在の島弧型火成活動とはその分布様式が異なることが特徴である。雁行海山列を構成する海山の年代は17Ma-3.0Maである。

ii) 3.0-2.4Ma（初期リフト地形形成ステージ）

雁行海山火成活動が終焉し，島弧型火成活動が現在の火山フロント近傍で開始される。大規模火山体を形成する火山活動域が狭くなり，現在の火山フロント近傍に限られる。一方，小海丘を形成する単成火山活動は島弧中軸域および背弧域の一部で継続したと推察される。これが初期リフト地形と考えられる。

iii) 2.4-0.0Ma（小規模凹地の形成ステージ）

極度に発泡した玄武岩で特徴づけられる火成活動が，リフト内の東縁に分布する小規模凹地で活発となる。小規模凹地の形成開始は，発泡した玄武岩の最も古い年代が2.4Ma前であることから，少なくとも2.4Ma前であると考えられる。火成活動の時空間分布は南北

に連続する小規模凹地内で一斉に発生するものではなく、セグメント化した分布を持つものと推測される。恐らくこのステージは、小海丘火成活動のみで特徴づけられるリフト形成のイニシエーション・ステージから一段階進んだステージと考えられる。

一方、小海丘を形成する単成火山活動は島弧中軸域のリフト全域で依然として活発である。さらに、火山フロントでは島弧型火成活動（バイモーダル型）が活発であり、多量の火山性砕屑物が火山フロントから中央島弧リフトゾーンおよび前弧域に運搬された。

6) 南海トラフ構造区

南海トラフ陸側斜面は、トラフ軸にほぼ平行な多数の断層の発達によって特徴づけられる。特にトラフ軸から約 20—30km の範囲では、衝上断層が主スベリ面であるデコルマから派生しており、前縁断層系と呼ばれている。トラフ底を埋積したタービダイトおよび半遠洋性堆積物は、このデコルマより上に位置するため剥ぎ取られ島弧側プレートに付加される。室戸沖の深海掘削では、最前縁の衝上断層の掘削が行われ、変位の開始が 20 万年前で、平均変位速度が約 15m/1000 年という値が得られている。前縁断層系の発達域の陸側では、トラフ側で形成された衝上断層がその後の変形によって傾斜を増し、それらが out-of-sequence thrust と呼ばれる衝上断層によって切断される構造がよく見られる。これらの断層は、巨大地震の際に運動しているものと考えられており、四国沖では、3 次元地震探査によって断層面の詳細な形状が明らかにされている。付加プリズム斜面の断層は、基本的にトラフ軸に平行であるが、室戸沖では等深線が陸側に大きく湾入した所が認められ、それに沿って断層の方向も変化している。これは、海山の沈み込みによる付加プリズムの変形と解釈され、その陸側には高まり（土佐バエ）が発達する。

南海トラフの陸側には、幅 100—150 km 程度の 5 つの前弧海盆が発達する。各海盆は、それぞれ志摩半島・潮岬・室戸岬・足摺岬と、さらに海域に連続する高まりによって分断されている。これらの高まりは、外縁隆起帯（Outer Ridge）と呼ばれ、陸に近い所では南北方向で、南海トラフに近づくにつれ北東—南西方向、あるいは東西方向に向きをかえる。この隆起帯の活動の開始は、東海沖では後期更新世以降と考えられる。

熊野灘沖では、隆起帯によって中期中新世以降の堆積物がせき止められ、大陸棚との間に熊野舟状海盆が大きく広がる。室戸・土佐・日向海盆は、大陸棚・前弧海盆・下部大陸斜面などの島弧の方向に連続する地形に対して大きく斜交する南北方向に伸びる隆起帯が存在する。これらの背斜構造は後期鮮新世から第四紀初め頃に隆起し始めたと考えられる。日向海盆は堆積中心部の北への移動が見られるが、その原因は九州—パラオ海嶺の沈み込みによるものと考えられる。また、日向沖では他の海域とは異なる北西—南東方向のリニアメントが多数認められるが、この現象も九州—パラオ海嶺の沈み込みによる前弧

域の変形が原因とみられる。

7) 南西諸島構造区

琉球海溝?琉球弧?沖縄トラフ (琉球弧系) は、大陸縁辺の活動的な海溝?島弧?背弧海盆系であると考えられている。琉球弧はその周辺海域も含め緯度的に三つの部分、北部・中部・南部に細分することができ、これらは地形的な凹地であるトカラ海峡および慶良間海裂により区分される。本域ではフィリピン海プレートが南東側から沈み込んでおり、その方向は北・中部では琉球弧系に対し直交に近いが、南部では次第に並行していく。北・中部と南部では沖縄トラフの水深、火山フロントの位置および断層群の走向等、様々な相違がみられる。

沖縄トラフの形成史は以下のように考えられている。中軸部では 6Ma 以前から活発であったグリーンタフ活動が、ほぼ 2Ma を境にして酸性火山活動に遷移した。また、背弧域の沖縄トラフでは 6Ma-4Ma と 2Ma から現在までの 2 回のリフト活動が認められる。背弧域北東端の五島灘では南北伸長による正断層の発達に 6Ma 以降活発化した。沖縄トラフの 2Ma 以降のリフト活動は伊豆・小笠原構造区におけるリフト地形の発達年代とほぼ一致している。

8) 山陰北陸構造区

6Ma 以降における九州西方・山陰沖・北陸沖海域の応力場を以下の時期・区域に分類する事ができる。

i) 6-4 Ma : 山陰沖海域における傾斜不整合は 6Ma 前後に形成された。これに伴って対馬を含む日本海西縁が隆起し、地震探査記録から見て対馬海峡は閉塞したと考えられる。 $\sigma_{Hmax} = \sigma_1$ で方向は N10-30° W と推定される。この時期に、五島灘や隣の天草灘では、急速な沈降と伸張が始まる。鮮新世中頃になると、日本海に暖流系珪藻が再び出現することから、圧縮応力場が弱まり隆起は沈静化したと考えられるが、北陸沖では後期鮮新世まで継続した可能性がある。

ii) 4-0 Ma : 九州西方海域 (五島・天草灘) では依然沈降が継続するのに対し、山陰沖海域では、南北隆起帯が成長する。 $\sigma_{Hmax} = \sigma_1$ で方向は N70-90° W と推定される。方、北陸沖では $\sigma_{Hmax} = \sigma_1$ で方向は N30-50° W となって、日本海南部の応力場に地域性が見られる。また、鳥取沖は両者の漸移帯で横ズレ成分の卓越する逆断層が発達する。

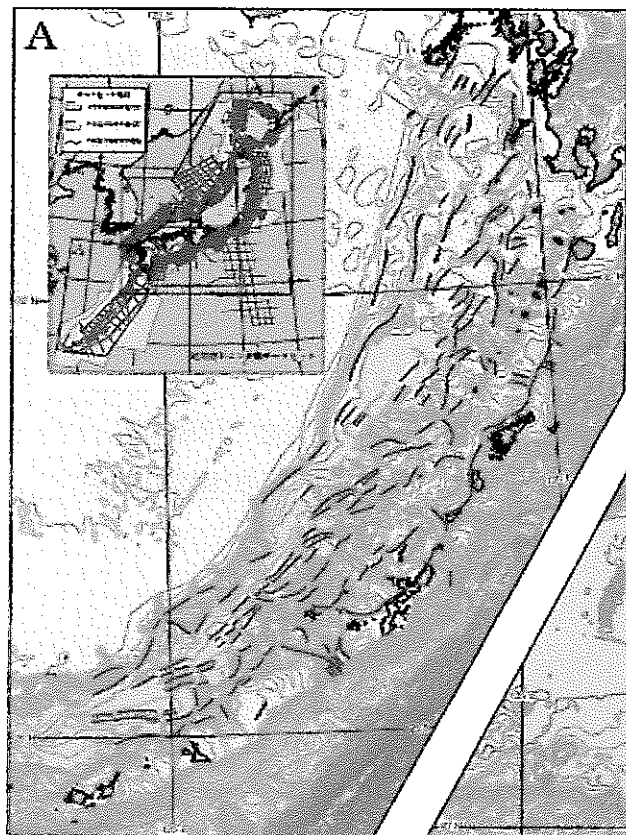
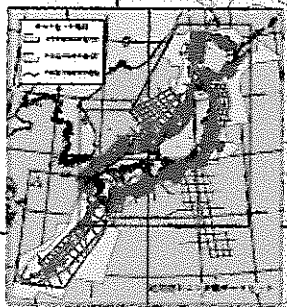
9) 日本海東縁構造区

本海域は能登沖から北海道西方沖の東北日本弧背弧域に相当する。青森沖以南では約 5Ma に隆起帯の形成が開始されたものと考えられるが、その活動が顕在化したのは 3Ma 以降である。圧縮軸はほぼ東西である。北海道西方では約 1.5Ma 以降圧縮軸が東西から北西-南東に変化したものと考えられる。この原因として、北アメリカプレートとユーラシアプレートとの境界が日本海東縁に移動したことが考えられる。

参考文献

徳山英一，本座栄一，木村正昭，倉本眞一，芦寿一郎，岡村行信，荒戸裕之，伊藤康人，徐垣，日野亮太，野原壯，阿部寛信，坂井眞一，向山健二郎 (2001)：日本周辺海域中新世末期以降の構造発達史，海洋調査技術，13，1，27-53

A



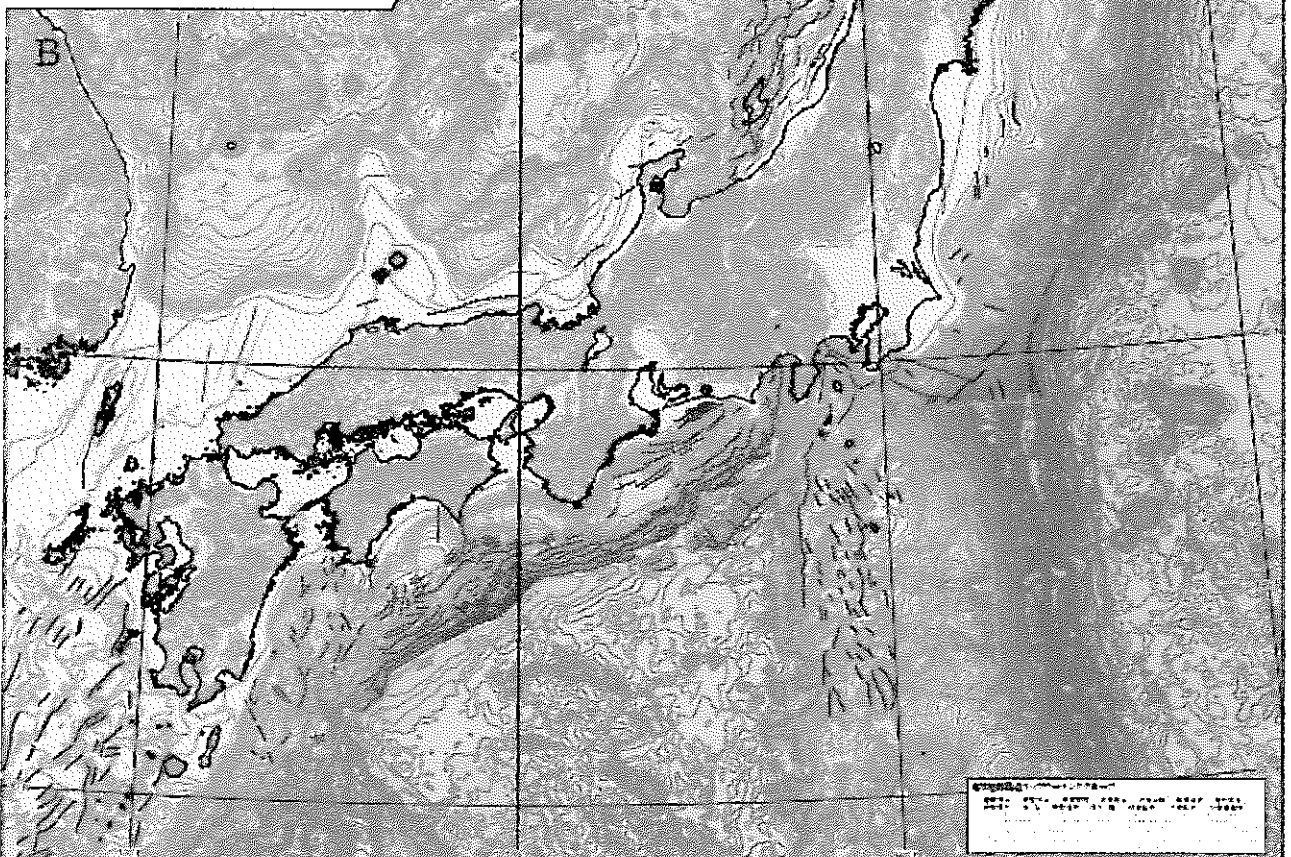
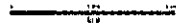
【日本周辺の海嶺・中絶帯・水圏・陸の構造発達史】付図

日本周辺海域の第四紀地質構造図

Quaternary Structural Map of Japanese Waters

地質学研究所 地質学研究所グループ

1:2,000,000



地質学研究所 地質学研究所グループ
 〒100-8332 東京都千代田区千代田 1-1-1
 TEL: 03-5548-2111 FAX: 03-5548-2112
 E-MAIL: geology@riod.ac.jp

海峽調査隊 地質学研究所 (2011) 付図

地質学研究所 地質学研究所グループ
 〒100-8332 東京都千代田区千代田 1-1-1
 TEL: 03-5548-2111 FAX: 03-5548-2112
 E-MAIL: geology@riod.ac.jp

日本列島の海岸線：「日本の海成段丘アトラス」

町田 洋（東京都立大名誉教授）

本研究は日本列島の海成段丘について、形成時代、旧汀線高度、分布などについての詳しいデータベースを構築するプロジェクト*である。海成段丘を指標にして第四紀後半の地殻変動を他の資料より詳しく求めることに主目的がある。

1. 海成段丘とは何か：過去の海岸、浅海底。一般には離水したものを指すことが多いが、広義では現海面下に沈水したり新しい地層の下に埋没したものも含める。
2. 海成段丘と旧汀線から何が分かるか：直接的には過去のある時期（多くは間氷期）における海水準の現在の高さ A であるが、これは主にユースタティックな氷河性海面変化と地殻変動量で決まる。氷河性海面変化による各間氷期の古海面高度 B とその時代 T については、海洋酸素同位体比変動と世界の地殻安定地域から得られる年代と古海面高度の資料を基準とする。更新世段丘については、その地点の平均的な地殻変動速度は $(A - B) / T$ とみなされる。
3. 段丘の何を調べるか：①海成段丘の判定と分布調査；②海成段丘の旧汀線または海成層頂面高度の測定；③段丘とその堆積物の対比・編年。
一般に①や②よりも③の年代精度を高める方法が問題である。これについては、日本のかなりの部分では広域テフラの層位・年代を基礎としたテフクロノロジーが有用である。しかしテフラが風化・侵食されて検出できない地域も多い。これが適用されてよい成果が得られた地域（南関東、北海道、上北、南九州など）は比較的狭く限られてはいるが、対比編年の基準を与えるので重要である。
主要指標テフラの噴出年代は、海底コアおよび海成層で得られた酸素同位体層序におけるテフラの層位を基準とし、段丘がどの酸素同位体ステージに形成されたかの判定に適用する。この他、段丘構成物の各種放射年代や生層序も参考になる。とくに南西諸島のいくつかの島では化石サンゴのウラン系列年代が重要である。
4. どんな研究ととりまとめをしたか：ワーキンググループと協力者が蓄積していた各地の海成段丘分布に関するデータをさらに充実させ、網羅的に日本列島全域の各海成段丘を記載した。すなわち上記①～③に関して従来の研究成果よりもはるかに高い確度と精度を目指した。
 - a) 段丘の区分・対比とそれぞれの形成年代の判定。
 - b) 1/5 万地形図に次の事項を記入：各段丘面と旧汀線の分布および高度測定点と等高線、編年の標式地。また各地点のデータとそれらの信頼度を表示し、垂直方向の変動速度を算出した。
 - c) 地形図ごとに段丘の対比と編年に関する図表を作成。
 - d) 1～数図幅ごとに海成段丘の解説と文献リストを作成。
これらの基礎資料から酸素同位体ステージ 9, 7, 5e, 1 ごとに 1/20 万地勢図に段丘・旧汀線の等変位量線を描き、さらに 1/200 万段丘分布図を編集した。

5. 主な成果：

- 1) 従来より多数の第四紀テフラが記載・同定され、編年上の層位もより詳しく明かとなって きた。とりわけ約 0.6Ma 以降の広域テフラは充実し、酸素同位体ステージ 15 以降の海成段丘や海成層の対比・編年に利用できるようになった。
- 2) 各地で酸素同位体ステージ 9, 7, 5e, 5c, 5a, 1 の海成段丘が記載された。この中でステージ 5e と 1 は、広域的に詳しく同定することができる。同定可能なもっとも古い海成段丘はステージ 13 ないし 11 に対比できるものである。したがって海成段丘の変位から地殻変動を論じることができるのはおよそ 0.5~0.4Ma 以降であるが、0.125Ma 以前はまだ局地的に限られる。
- 3) 編年精度の高い地域では、およそ 0.4Ma 以降、地殻変動（傾動）は同じ向きで、ほぼ等速的に起こってきたとみなされる。
- 4) 各地で認識できるステージ 5 (5e, 5c, 5a) の旧汀線高度分布から明かになる平均変位速度と褶曲の波長、振幅に基づくと、日本列島では次のような諸変動地域が識別できる。
 - ①：傾動速度が最大でしかも最も早く（1m/ka 以上で）隆起したところを含む地域：フィリピン海プレートの北境界に接近した相模トラフ・駿河トラフに接する地域（南関東、東海地方東部）、室戸半島、種子島南部、喜界島など。
 - ②：①よりも傾動・隆起速度が 0.5~1m/ka とやや小さい地域：フィリピン海プレートの北境界に並行する紀伊半島南東部、四国足摺岬、宮崎平野、屋久島・徳之島・石垣島・宝島など南西諸島の一部など。
 - ③：曲動の波長が短く、②と同程度の隆起速度をもつ地域：日本海東縁に走ると考えられるプレート境界？に関連する、北海道・東北の日本海側から北陸まで。
 - ④：曲動の波長が長く、振幅も小さい（断層による局地的変位はあるが隆起速度<0.5m/ka の）地域：オホーツク海沿岸、道東から東北地方・東関東にかけての太平洋側。
 - ⑤：さらに波長が長く、振幅・隆起速度も小さい、安定ないし沈降傾向にある地域：山陰、北・西九州、伊豆半島、伊豆小笠原諸島、沖縄島など南西諸島の大部分。
 - ⑥：顕著な沈降地域：大型の平野・盆地は①、②の内陸側に補填的に接して発達し、小型のものは③の沈降部に発達する。

6. 成果の利用法

- i 段丘で示される長期的変位と歴史地震時の変位との関係から、各歴史地震のテクトニックな意義およびその地域で今後起こるべき地震の予測も考察できる。
- ii 段丘の変動史はテクトニックな変動の原因を探る上の基礎資料となる。
- iii 段丘編年の基礎になったテフラ編年は、他の多くの諸現象の年代研究に利用できる。

7. 今後の問題

- i 議論の基礎になる段丘対比・編年の根拠に乏しい（段丘・旧汀線の時代判定確度の小さい）地域がまだ相当残されている。

ii さらに長期の変動史を高精度で明らかにする必要がある。それは過去の変動に大きな変化があったか否かを検討し、かつ変動の原因を考える上で重要である。

iii 完新世のテクトニックな変動についてはハイドロアイソスタシーの影響を無視できない。

*小池一之・町田 洋・貝塚爽平・米倉伸之・山崎晴雄・長岡信治・前杢英明・八木浩司・渡辺満久・鈴木毅彦・宮内崇裕・太田陽子・平川一臣・杉原重夫・海津正倫・森山昭雄・森脇 広・吉山 昭・吾妻 崇・澤 祥・奥村晃史、白神 宏・山下佐祐美・熊原康博・藤原 治・布施圭介

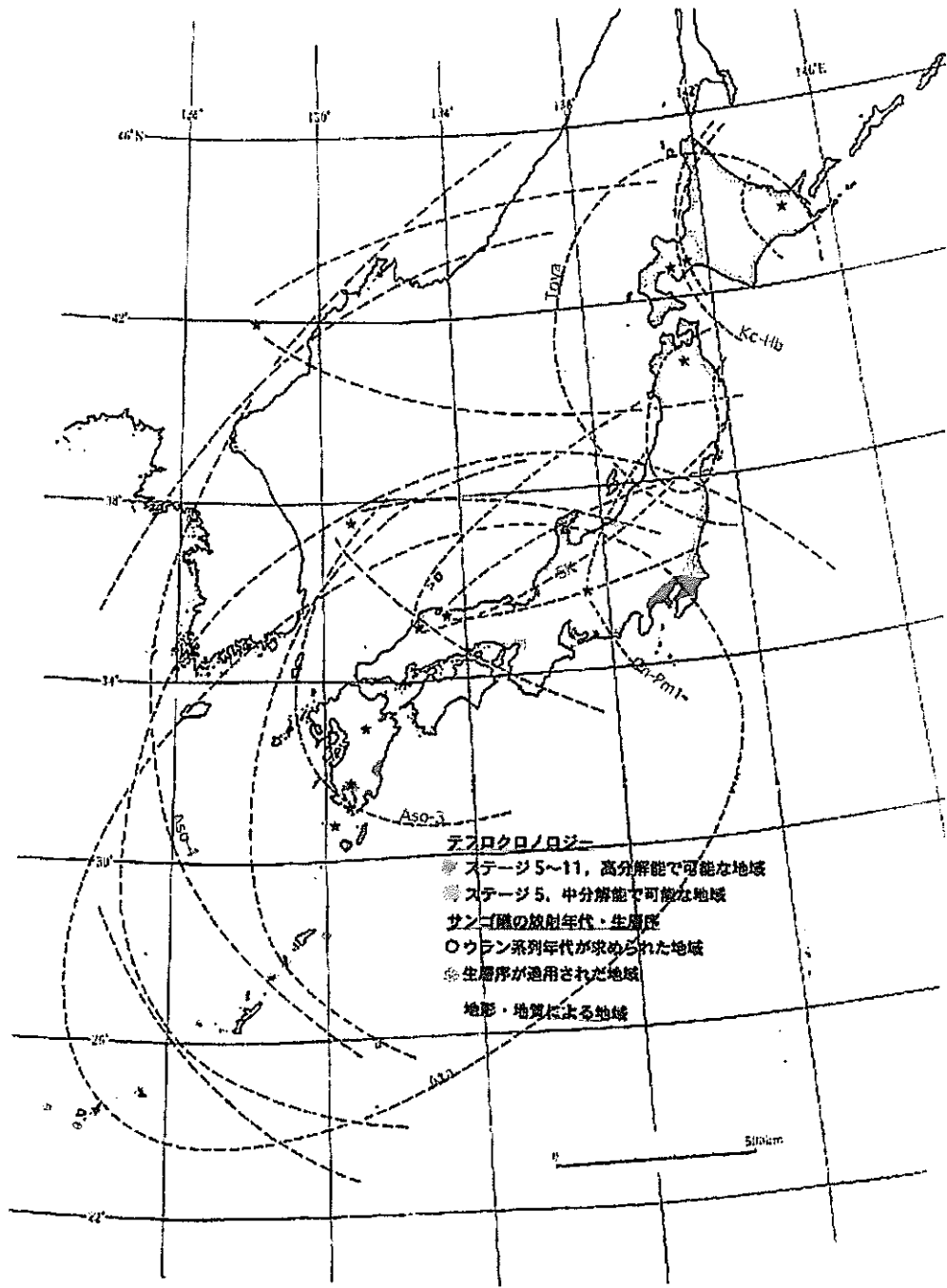


図1 後期第四紀の主要広域テフラの分布と海成段丘対比・編年法の地域性
 白抜きの地域の段丘対比・編年の方法は従来の地形地質分的特徴による。
 テフラ名：Aso-4, 阿蘇4; On-Pm1, 御岳第1; SK, 三瓶木次; Toya, 洞爺; Kc-Hb, クッチャロ
 羽幌; Aso-3, 阿蘇3

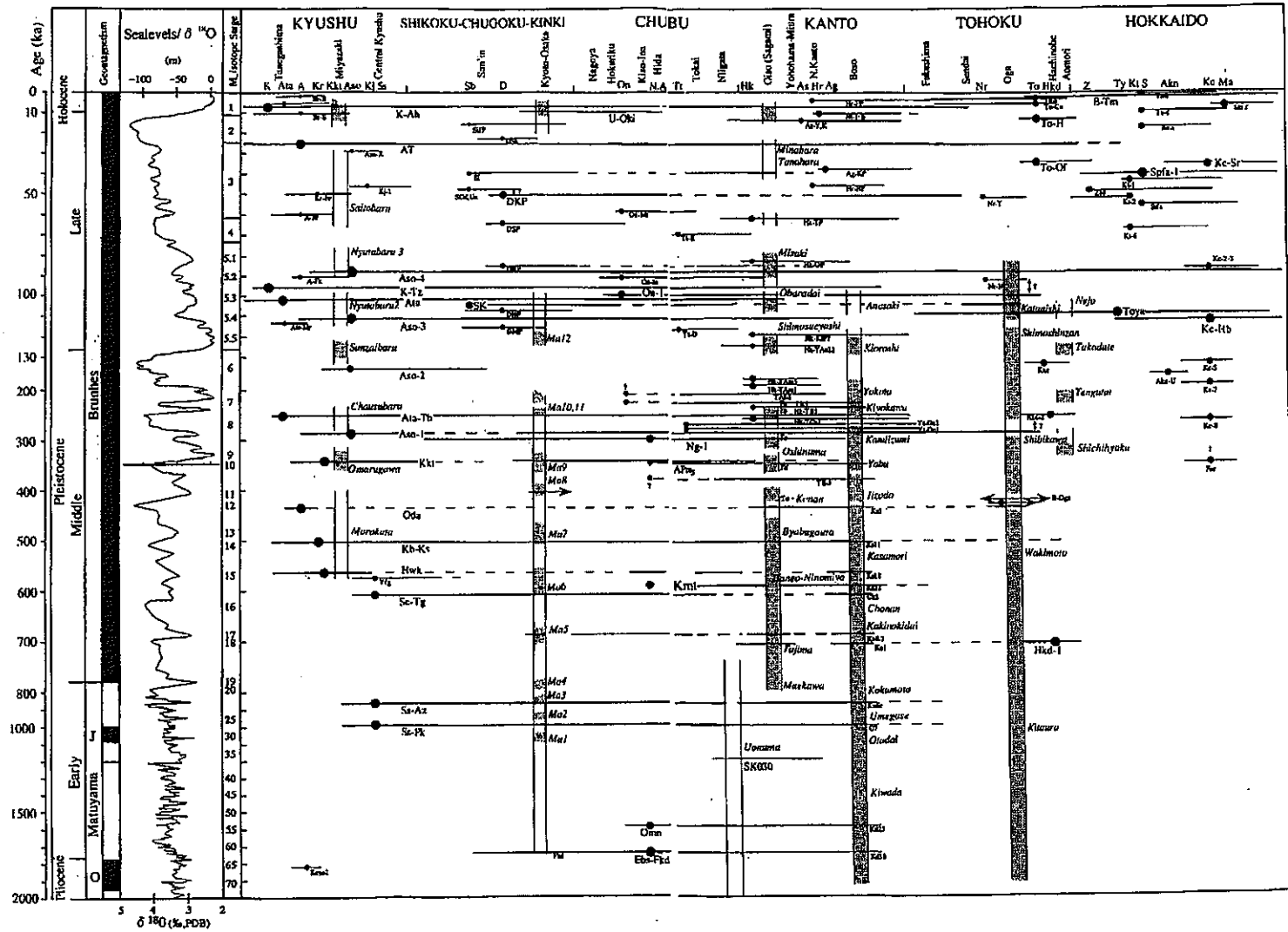


図2 日本の第四紀テフラクロノジーの時空ダイアグラム (Machida, 1999)

K: Kitami, A: Aira, Kr: Kirishima, Kkt: Kakuto, Kj: Kuju, Ss: Shishimuta, Sb: Sambe, D: Daisen, On: Ontake, N.A: Northern Alps, Tt: Tateyama, Hk: Hakone, As: Asama, Hr: Haruna, Ag: Akagi, Nr: Narugo, To: Towada, Hkd: Hakkoda, Z: Zenigame, Ty: Toya, Kt: Kuttara, S: Shikotsu, Akn: Akan, Ma: Mashu

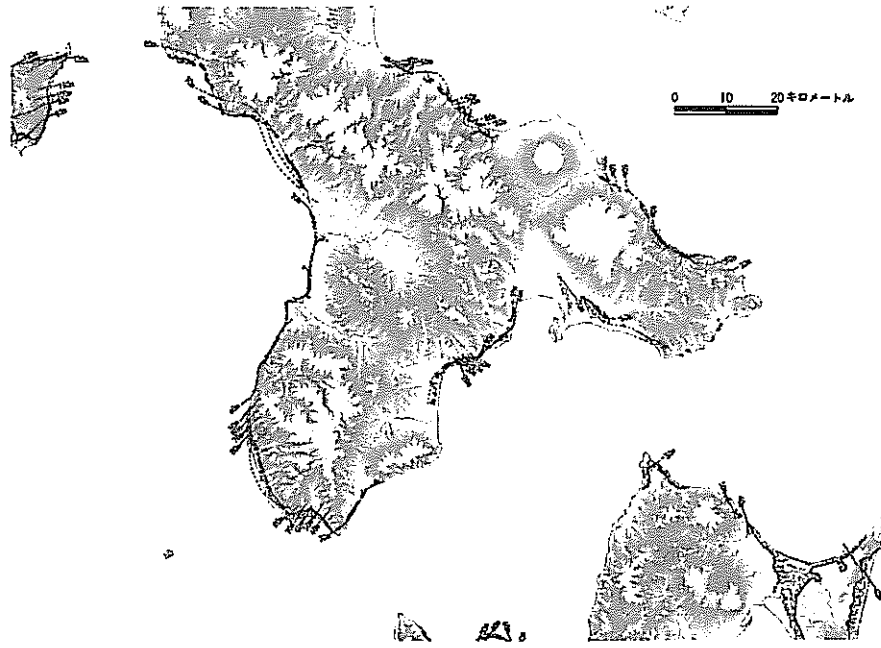


図3 津軽海峡付近の5e海成段丘旧汀線高度（編集図）

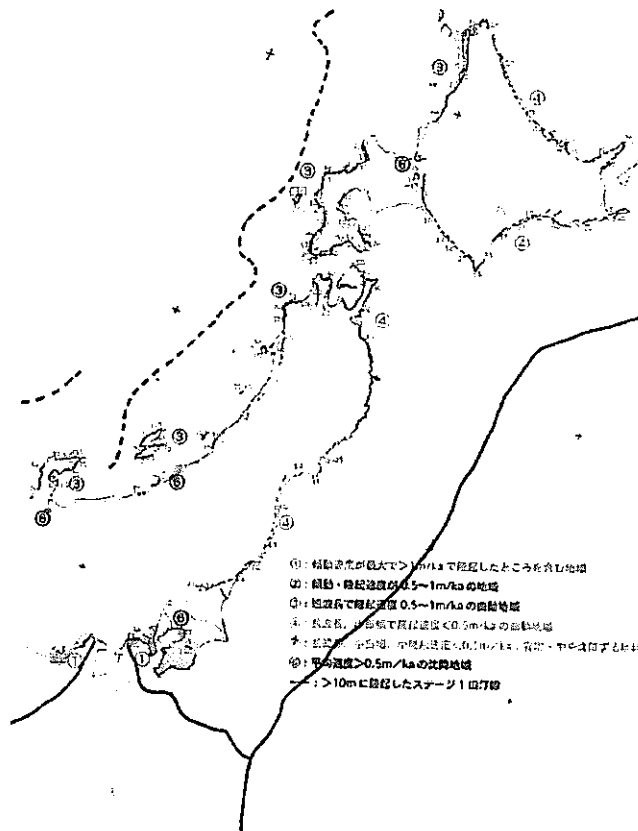


図4-1 ステージ5e旧汀線高度の分布

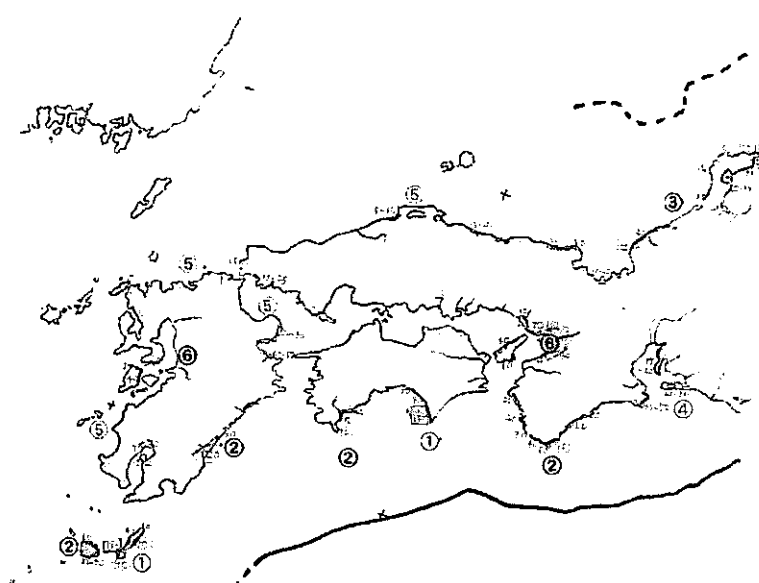


図4-2 ステージ5e旧汀線高度の分布
(凡例は図4-1と同じ)

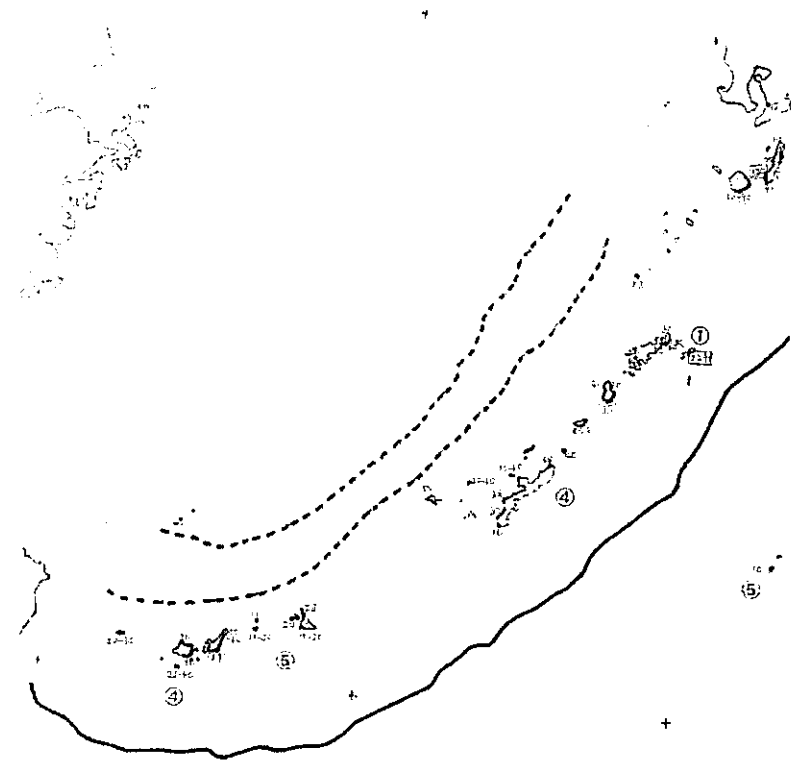


図4-3 ステージ5e旧汀線高度の分布
(凡例は図4-1と同じ)

セッション3：地質環境の長期安定性に関する研究

| | |
|-----------------------------------|----|
| 地質環境の長期安定性に関する将来予測研究の課題・・・・・・・・・・ | 31 |
| 武田 精悦（核燃料サイクル開発機構） | |

地質環境の長期安定性に関する将来予測研究の課題

武田精悦（核燃料サイクル開発機構）

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発については、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」¹⁾において、「国及び関係機関は、最終処分の安全規制、安全評価のために必要な研究開発や深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発及び地層処分技術の信頼性の向上に関する技術開発等を積極的に進めていくことが必要である。特に、核燃料サイクル開発機構等は、これまでの研究開発成果を踏まえ、今後とも深地層の研究施設、地層処分放射化学研究施設等を活用し、地層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の確立に向けて研究開発を着実に推進することが必要である」とされている。

サイクル機構では、国の計画・方針に従い、地層処分技術に関する研究開発として、地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究を進めており、その一環として、地質環境の長期安定性に関する研究を進めている。

地質環境の長期安定性に関しては、隆起・侵食、気候・海水準変動、火山活動、地震・断層活動などの天然事象について事例研究などを行い、「第2次取りまとめ」²⁾に示された「長期的に安定とみなせる地質環境がわが国においても存在しうる」と言う一般論的見通しを、より具体的、実証的に評価するための研究開発を進めている。

2. 第2次とりまとめまでの研究結果

隆起・沈降・侵食、気候・海水準変動、地震・断層活動、火山活動について、全国的な視野から、外部専門家の協力などを得て、主に第四紀における活動の地理的分布や時間的な規則性、これらが地質環境に影響を与えた事例を調査・研究した。そして、これらの結果に基づき、各天然現象の将来10万年程度における発生の可能性や規模、発生した場合の地質環境への影響の範囲と程度を把握するためのデータを整備してきた。

(1) 隆起・沈降・侵食に関する研究

山地の隆起の地域的特徴と時間的変遷を文献調査により整理し、隆起が第四紀（少なくともその後半）を通じて一様な傾向で継続してきたことを確認した。また、全国の海岸段丘の年代と高度分布に関するデータベースを作成し³⁾、各地の変動様式を整理した。その結果、隆起速度は多くの海岸地域で50m/10万年未満であることや、同じ傾向の隆起が過去10万年から数十万年間継続していることが判明した。

侵食については、ダム堆砂量から求めた侵食速度と流域の地形起伏との関係を明らかにし、その関係式を用いて、数値地図をベースに全国の侵食速度の分布図を作成した⁴⁾。また、河岸段丘の高度分布に基づいて、氷期・間氷期を通じた10万年オーダー

一での河川侵食のプロセスをモデル化した⁵⁾。

(2) 気候・海水準変動に関する研究

氷期・間氷期を通じた気温，降水量，海水準の変動幅を文献調査により整理した。氷期には年平均気温が数度から10度程度低下し，100m程度の海面低下が起きたこと，また，地域によっては降水量が現在の半分程度に低下したことが判明した⁶⁾。

また，氷期の北海道を例に永久凍土の形成深度をシミュレーションし，想定される最大深度が130m程度であることを見積もった⁷⁾。

(3) 火山活動に関する研究

第四紀火山の分布と噴火年代などに関するデータベースを作成し⁷⁾，これをもとに火山活動の場所と時間的変遷を明らかにし，火山活動が第四紀を通じて限られた地域で繰り返していることなどを確認した。

地熱に関しては，ボーリングデータから編纂した地温勾配図⁸⁾をもとに，火山からの距離と地温勾配との関係を解析し，火山活動の影響による高温異常域の範囲は，火山の噴出中心から10～20kmであることを明らかにした⁹⁾。また，火山活動による地質環境への影響について文献調査や数値解析を行い，熱的・水理的・地球化学的影響の範囲が，火山の噴出中心から数km～20km程度であることなどの事例を整理した¹⁰⁾。

(4) 地震・断層活動に関する研究

空中写真判読などにより地形的に明瞭な活断層のみを抽出した「1/200万日本列島活断層図」¹¹⁾を作成し，地域による活断層の分布密度や活動のタイプの違いなどを解析した。また，テクトニクスと断層活動との関係を分析し，大半の活断層が過去数十万年間，同じ傾向で活動を続けてきたことを明らかにした。さらに，活断層の地下深部構造や活動場の移動範囲について事例研究を行い，活動場の拡大範囲が数十万年で数km程度であるなどの事例を整理した。

断層活動による力学的影響範囲については，断層の性状・規模と断層破碎帯の幅との関係などの情報を整理した。地震による地下水への影響については，地震前後での地下水位の変化の観測結果から，その変動幅は通常認められる季節変動よりも小さく，数ヶ月程度で元のトレンドに戻るなどことが明らかになった¹²⁾。

3. 今後の課題と研究計画

「第2次とりまとめ」までは全国的な視野で調査・研究を進めてきたが，今後は地層処分事業や安全規制への具体的な反映を念頭において，その基盤となる情報・技術を蓄積する必要がある。そのためには，①各天然事象の活動の規模などの予測手法の構築，②天然事象が地質環境へ与える影響の評価手法(評価モデル)の構築，③それらのための調査・解析技術の体系化，④予測や影響評価を裏付ける天然事象の活動様式やその影響に関するデータベースの充実，が必要である。

天然事象の予測手法の基本は、過去を踏まえた外挿であり、そのためには各天然事象が地球の歴史の中で起こってきたプロセスの理解が重要である。また、予測の信頼性を高めるためには、経験則だけでなく、天然事象のメカニズムを地球物理学的にモデル化して変動のプロセスを解析することが有力な手段の一つでもある。

天然事象による地質環境への影響評価は、非常に長い時間を対象とすることから、地質環境の現在の状態を理解するだけでなく、その環境がなぜ作られたか、それが将来どのように変化するか（あるいは変化しないのか）を自然のプロセスと関連づけて予測・評価していく必要がある。評価モデルは、様々な地質環境に対応でき、様々な天然事象の複合した影響を評価できる汎用性の高いものを準備する必要がある。予測・評価期間は当面 10 万年程度を目標とする。これらの研究は緒についたところであり、方法論の確立も含めて、今後の中心的な課題である。

調査・解析技術の体系化に関しては、地域評価に必要な調査の内容と手順の整理、データの品質保証や解析結果の検証法の確立が重要であり、事例研究を通じてこれらを整備する。具体的には、以下に述べる地形変化や永久凍土形成のシミュレーション手法、震源断層調査法、火山の影響調査法などの整備を進めている。

データベースの充実については、「第 2 次取りまとめ」の過程や、国による評価などでも挙げられた下記の事項に焦点を当てて、全国レベルで事例研究などを進めている。

- ・地殻変動、侵食作用、海水準変動の複合により地形はどう変化するか？
- ・非火山地域における温度異常の原因は何か？
- ・単成火山地域における火山活動域をどう評価するか？
- ・活断層が認められない地域で発生する地震をどう評価するか？
- ・測地データが長期的な地殻変動の傾向と違うのは何故か？

(1) 隆起・侵食に関する研究

土被りの厚さや動水勾配の変化など、地表から地下深部までの地質環境が将来どの程度安定であるかを評価する上で重要な、地形変化を予測する手法を構築する。このため、地形が地質や隆起速度とどう関係しているかを数値地図を用いて解析するとともに、高精度のデジタル標高モデルの構築、斜面の侵食速度に関する事例研究などを通じて、隆起と侵食を同時に組み込んだ 3 次元地形変化シミュレーション（解析メッシュ間隔 5m）技術の構築を開始した。

(2) 気候・海水準変動に関する研究

今後到来が予測される氷期の海面低下や低温化による影響を主に検討する。地形変化の観点から、海面低下にともなう河川の下刻の規模を予測するプロセスモデルの構築などを開始した。また、現実的な地質構造や温度条件を設定した、永久凍土の形成深度のシミュレーションを進めている。今後、永久凍土の不透水性や凍結に伴う物性

の変化が地質環境に与える影響を調査する。

(3) 火山活動に関する研究

将来火山活動が生じる可能性のある地域の予測手法や、火山活動が周辺の地質環境に及ぼす影響を把握する手法を整備する。物理探査などを利用した地殻温度構造の解明、地球化学的手法による地下の熱源の解明、年代測定などによる単成火山の時空分布の把握などの事例研究を開始した。また、マグマの貫入、大規模火砕流、地熱・熱水などが周辺岩盤や地下水循環へ及ぼす影響の程度とその範囲に関しても調査・研究を進める。

(4) 地震・断層活動に関する研究

地形的には明瞭に現れていないが、地下に潜在していて将来 10 万年程度の間活動する可能性のある断層（震源断層）を検出する手法を整備する。震源断層の抽出基準を検討するため、地形学的特徴、地震分布、地下構造、測地データ・重力異常などの情報収集を開始した。これらのデータを事例研究を通じて総合的に解析し、検出手法を構築していく。

断層活動が周辺の地質環境に及ぼす影響に関しては、断層周辺の割れ目系の生成・発達、岩盤応力、透水性、地震に伴う震源地域の地下水や岩盤応力（歪）の変化などに関するデータを整備する。

(5) 地質環境の長期予測に関する研究

地球物理学的なモデルの一例として、日本列島の隆起のメカニズムを説明するために、日本列島の海岸隆起をテクトニクスと地殻の物性を考慮して解析するシミュレーションモデルの開発を、既存の研究をベースに開始した。

4. おわりに

「第 2 次取りまとめ」の公表、それに対する国の評価、処分事業にかかわる法令の整備、処分事業の実施主体の設立など、わが国の地層処分計画は科学的検討の段階から事業化を目指した段階へと踏み出しつつある。サイクル機構は、今後も国および関係機関と適切な役割分担をしつつ、研究開発を展開していく。

地質環境の長期安定性に関する研究の成果は、地層処分事業や安全規制の基盤となる技術や情報・知見として活用される。同時にこの研究は、長期にわたる自然界の現象の理解につながる研究でもあり、わが国における地層処分の信頼性向上のための科学的基盤となるものである。そのため、この研究は、地球科学の各分野における先端の技術や知見を結集して進めていくことが重要である。今後とも様々な形で大学など外部の専門家の方々にご協力・ご支援をいただきながら研究開発を進めていく方針である。

5. 引用文献

- 1) 「原子力の研究，開発および利用に関する長期計画」，平成 12 年 11 月 24 日，原子力委員会
- 2) 核燃料サイクル開発機構(1999) わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－総論レポート． 同，分冊 1 わが国の地質環境．
- 3) 小池一之・町田 洋編（2001）日本の海成段丘アトラス．東京大学出版会，106P，3CD-ROM s
- 4) 藤原 治・三箇智二・大森博雄（1999）日本列島における侵食速度の分布．サイクル機構技報，5，85-93
- 5) 高木俊男・柳田 誠・藤原 治・小澤昭男（2000）河岸段丘から推定した河床高度変化の歴史．地学雑誌，109，366-382
- 6) 松末和之・藤原 治・末吉哲雄(2000)日本列島における最終氷期最寒冷期の気候．サイクル機構技報，6，93-103
- 7) 第四紀火山カタログ委員会編（1999）日本の第四紀火山カタログ（CD-ROM 版），日本火山学会
- 8) 矢野雄策・田中明子・高橋正明・大久保泰邦・笹田政克・梅田浩司・中司 昇（1999）日本列島地温勾配図（1:3,000,000），地質調査所
- 9) 梅田浩司・小松 亮・中司 昇（1999）坑井データによる地下温度構造の推定．サイクル機構技報，2，29-36
- 10) 小松 亮・梅田浩司（1999）日本列島における温泉・熱水変質帯について．サイクル機構技報，4，121-128
- 11) 200 万分の 1 活断層図編集ワーキンググループ（2000）200 万分の 1 日本列島活断層図．活断層研究，19，3-12
- 12) Shimizu, I., Osawa, H., Seo, T., Yasuike, S. and Sasaki, S. (1996) Earthquake-related ground motion and groundwater pressure change at Kamaishi mine. *Engineering Geology*, 43, 107-118

【ポスターセッション】

<地震・活断層>

1. 活断層における空中物理探査・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37
2. 200万分の1日本列島活断層図・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 39
3. 日本周辺海域の地質構造マッピング・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
4. 断層活動に伴う周辺地下水流動系の変化に関する数値解析的検討・・・・・・・・ 47
ー野島断層周辺の二次元浸透流解析ー
5. 日本周辺海底地質図および音波探査プロフィールデータベース・・・・・・・・ 49
6. 野島断層3次元・2次元高分解能反射法地震探査・・・・・・・・・・・・ 51
7. 間隙水圧の地震時動的挙動解析・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55

<火 山>

8. 日本の第四紀火山カタログ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 57
9. 第四紀火山地形解析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 63
10. 全国地温勾配図の作成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 67
11. 貫入岩体が地質環境に与える熱的・力学的影響の調査・・・・・・・・・・・・ 73
ー成果と今後の課題ー
12. 温泉地化学データベースの作成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77

<隆起・沈降・侵食, 気候・海水準変動>

13. 河岸段丘から推定した河床高度変化の歴史・・・・・・・・・・・・・・ 82
14. 第四紀テフラ試料の高精度年代測定・・・・・・・・・・・・・・ 86
ーその試料評価と測定精度・トラック長解析を中心としてー
15. 日本列島周辺における第四紀後期の気候および海水準の変遷・・・・・・・・ 92
16. 海岸移動調査のためのジオスライサー地層採取法・・・・・・・・・・・・ 95
17. 沈降量分布図・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 102
18. 日本の海成段丘アトラス・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 108
19. 日本列島における侵食速度の分布・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 111

1. 活断層における空中物理探査

奥野孝晴・池田和隆・中山文也（応用地質株式会社）
石丸恒存（核燃料サイクル開発機構）

1. はじめに

活断層の分布とその周辺の地表から地下深部までの地質構造を把握することは、断層活動が周辺地質環境へ与える影響を評価する上で重要である。このための調査は、地質踏査やボーリング調査等が一般的であるが、伏在断層の有無や断層周辺の地下構造を推定するには長期間の調査が必要となる。本研究では短期間で広範囲に調査できる空中物理探査が広域的な地質構造をどこまで把握できるかを目的に、トレンチ調査やボーリング調査等が多く実施されている逆断層系の秋田県横手盆地東縁部を南北に走る千屋地震断層とその周辺（千畑町～六郷町）について、空中物理探査による地下構造解析を行った。

2. 調査概要

調査は千屋丘陵を中心とする約7 km×7 kmの範囲で、測線方向 N80° W、測線間隔 200 m、測線本数 36 本の条件でヘリコプターによる空中電磁・磁気及びγ線探査を行った。

空中電磁探査では、鉛直方向地表下約-100m までの比抵抗分布について把握するために 56,000Hz、7,200Hz、5,000Hz、900Hz 及び 385Hz の 5 周波数を使用し、これから得られた見掛比抵抗値を、深度毎の値に変換し、等深度毎の平面解析や断面解析を行った。

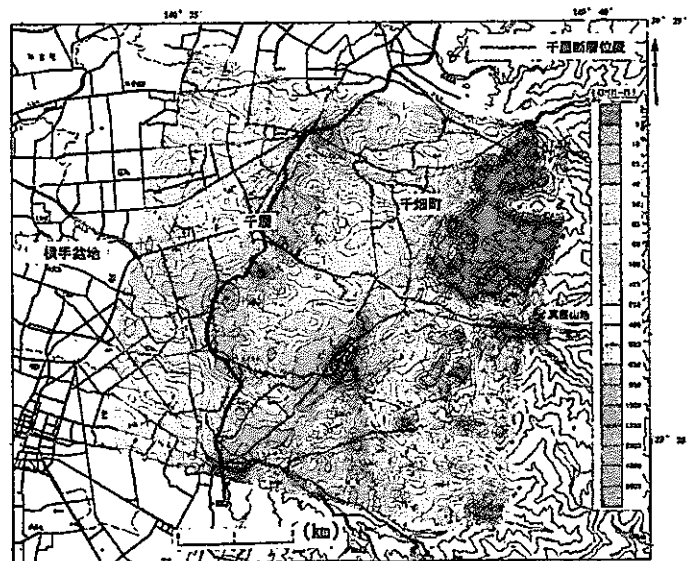
空中磁気探査では、地上探査で実施された反射法地震探査の結果との整合性を検討するために、一部で岩石採取し、帯磁率測定を行い、磁気モデル断面解析を試みた。

空中γ線探査については、エネルギー3MeV（256ch）までのγ線スペクトルを測定し、K・Th・U系の3放射性核種について解析を行い、地質との対比を行った。

3. 調査結果

空中電磁探査

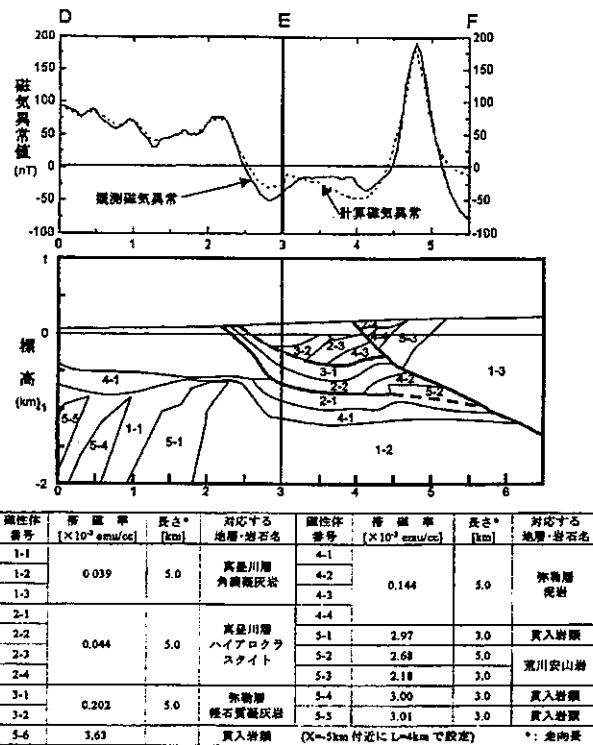
第1図は地表下-60 mの比抵抗平面図である。西側の100～400 Ω・mの比抵抗域は横手盆地の沖積層、すぐ東側の5～50 Ω・mの低比抵抗域は第三紀の泥岩分布域に対応しており、両者の境界は千屋地震断層にほぼ一致している。この低比抵抗域は、深くなるにつれて、東側に向かって分布域を広げると共に比抵抗値が低下している。千屋丘陵中央の中比抵抗域は第三紀の砂礫層および段丘堆積物分布域に対応している。



第1図 地表下-60 mの比抵抗平面図

空中磁気探査

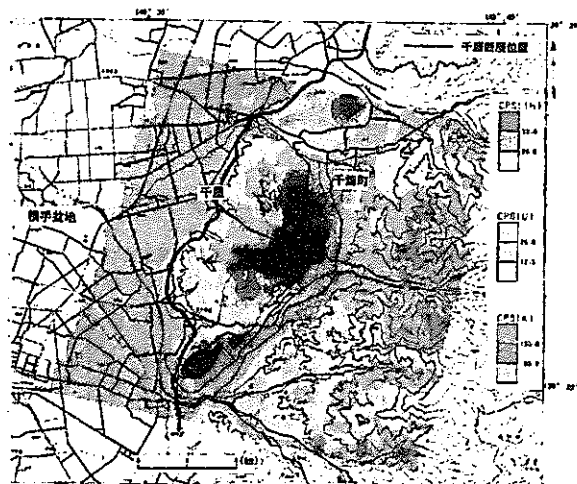
磁気探査結果からは東側山岳部の火山岩露出部のほか千屋地震断層西側の横手盆地平坦面下部にも磁気異常が確認された。第2図は反射法地震探査を実施したP位置においての、磁気モデル断面解析の結果である。反射法地震探査解析結果を基に、磁気モデルを挿入し解析を行った。火山岩岩脈が断面上では、山側で地表付近に露出するが、横手平野の地下数百m以下にも南北方向に伸びた形で分布する。千屋地震断層はこの潜在する地下の岩脈の上に東側から乗り上げるような形で動いたことが推定され、反射法地震探査の結果とよく一致する計算磁気曲線が得られた。



第2図 磁気モデル断面解析結果

空中γ線探査

全γ線のほか K、U、Th のチャンネル毎の放射線強度分布図を作成し、地質との対比を行った。第3図にγ川強度合成分布図を示す。調査地域に分布している地層・岩石はその自然放射線強度に顕著な特徴が認められ、K 放射線の強い部分は火山岩岩脈、中央部の Th 放射線の強い部分は第四紀の中位・高位の段丘堆積層を示し、千屋層、横手盆地の沖積層も各々放射線強度の特徴で区分できる。千屋地震断層そのものが放射能異常として確認できなかったが、山側下方に見える直線的な弱いU放射線異常は地質断層の位置と一致している。



第3図 γ線強度合成分布図

4. おわりに

7km×7km を対象とする本研究の測定飛行は、測定高度の点から空中電磁・空中磁気測定と空中ガンマ線測定を別々に行い、各々の現地における実測定時間は前者が 8.8 時間、後者が 6.2 時間であった。空中物理探査法は迅速に、均質な条件で、広域の地質・岩石物性データを取得でき、地表付近の大きな地質構造については把握できるものと考えられる。さらに反射法地震探査のような異なる物性値の結果と組み合わせて利用することで、より精度の高い解析を行ったりすることも可能であることがわかった。このように空中物理探査は有効な調査手法であり、今後さらに研究を続けていく必要があると思われる。

2. 200 万分の 1 日本列島活断層図

200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループ*

200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループでは、活断層マップワーキンググループが作成した日本の活断層のデジタルデータを基に、「200 万分の 1 日本列島活断層図」を作成した。

「200 万分の 1 日本列島活断層図」が既存の「新編日本の活断層（活断層研究会編、1991）」と異なる点として 2 つあげることができる。第一は、基本となるデータの精度の違いである。基本データを「新編日本の活断層」では、20 万分の 1 の図としているのに対し、「200 万分の 1 日本列島活断層図」では、2.5 万分の 1 の活断層図のデジタルデータを用いている。また、「新編日本の活断層」では、一本の断層として表現されているものも、本図では、数本に分かれて表現されている。第二として、活断層の定義の相違が挙げられる。定義を「新編日本の活断層」では、“第四紀に活動し将来も活動する可能性のある断層”としているのに対し、活断層マップワーキンググループでは、“最近数十万年に繰り返し動いてきた跡が地形に現れ、今後も活動を繰り返すと考えられる断層”とし、活断層を地表での変位地形の確からしさをもとに活断層と推定活断層に区分している。推定活断層は、「新編日本の活断層」の確実度Ⅱの活断層や確実度Ⅲのリニアメントではなく、確実度Ⅰに概ね相当する。活断層の分布を両図で比較すると、「200 万分の 1 日本列島活断層図」は「新編日本の活断層」と比べ、断層線の数が少ない。

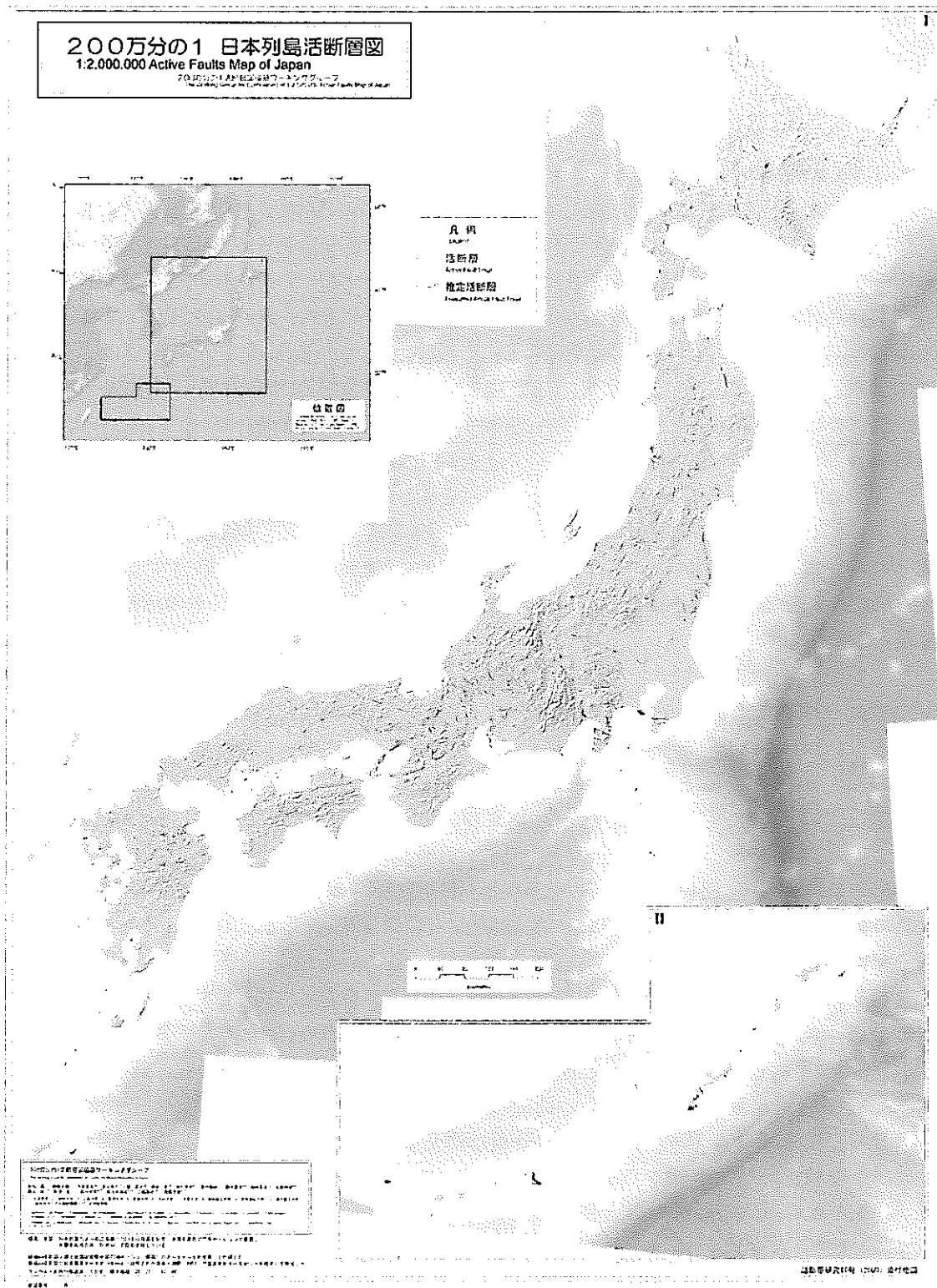
また、本ワーキンググループでは、活断層のグルーピングを行い、変位様式と活動度別に分布の特徴を検討した。グルーピングは松田（1990）に準じ、(1)活断層線の長さが 10km 以上である、(2)断層線が 5km 以上の間隔をもって独立している、(3)断層の走向・タイプ・変位センスなどが同じである、ということの基本とし、さらに既存の研究結果や地形・地下構造の情報などについても考慮して行った。グルーピングした活断層をここでは活断層帯と呼ぶ。ただし、ここで扱う活断層帯は、セグメンテーションをあまり考慮していないため、起震断層帯とは一致しない場合がある。このようにして行ったグルーピングの結果、断層帯の数は約 140 となった。断層帯ごとに、変位様式・平均変位速度などのデータを与え、変位様式別分布図・活動度別分布図を作成した。変位様式については、「新編日本の活断層」と同様、東北日本では逆断層が、西南日本では横ずれ断層が卓越して分布する。活動度の分類の基本となる平均変位速度は、逆断層では垂直変位量と段丘面から求めた。横ずれ断層では松田（1992）に基づき、谷の屈曲量 d と断層から上流の谷の長さ L の関係から、既存のデータを参考にして平均変位速度を推定した。活動度別でみると、日本列島に分布する活断層帯は B 級がほとんどである。A 級の活断層帯の分布は限られており、糸魚川-静岡構造線から伊豆地方にかける地域、跡津川断層から有馬高槻構造線・中央構造線にかける地域に主に分布する。また、C 級に属する活断層帯はほとんどみられない。

ただし、松田（1992）では、平均変位速度 S と d/L の比例定数を、阿寺断層などからおおよそ 10 であるとしているが、比例定数を 10 として平均変位速度を計算すると、ほとんどの横ずれ断層において活動度 A 級という高い評価になってしまい、すべての断層には適応できるわけではないことがわかった。さらに今後の研究において検討していく必要がある。

*200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループ：

中田高[1]・東郷正美[2]・千田昇[3]・今泉俊文[4]・奥村晃史[1]・渡辺清久[5]・宮内崇裕[6]・鈴木康弘[7]・堀浩之[8]・隈元崇[9]・岡田篤正[8]・松田時彦[10]・松岡裕美[11]・佐々木達哉[12]・三輪敦志[12]・高橋奈緒[12]・野原社[13]・郡谷順英[13]

[1]広島大学・[2]法政大学・[3]大分大学・[4]山梨大学・[5]東洋大学・[6]千葉大学・[7]愛知県立大学・[8]京都大学・[9]東京都立大学（現：岡山大学）・[10]西南学院大学・[11]高知大学・[12]応用地質株式会社・[13]核燃料サイクル開発機構



200万分の1 日本列島活断層図

参考文献

活断層研究会 (1991) : 新編日本の活断層—分布図と資料—、東京大学出版会
 松田時彦 (1990) : 最大地震規模による日本列島の地震分帯図、地震研究所彙報、65、pp. 289-319
 松田時彦 (1992) : 自然景観の読み方2 動く大地を読む、岩波書店

3. 日本周辺海域の地質構造マッピング

海域地質構造マップワーキンググループ*

安間恵・半場康弘・向山健二郎（川崎地質株式会社海洋調査事業部）

野原壯・郡谷順英（核燃料サイクル開発機構）

日本列島のネオテクトニクスは陸域から抽出された様々な種類の観測事実、(例えば測地学的、地形学的、地質学的事実)に基づいて論じられてきた。しかし、日本周辺のプレート境界の大半、さらに隣接する東アジアとの境界は海域であるにも拘わらず、日本列島のネオテクトニクス研究に対する海域からの貢献は必ずしも十分ではなかった。その理由は多岐にわたるが、まず第1に挙げられることは、地形解析に十分な精度を有するベースマップが存在しなかったことである。1980年代前半から高精度の海底地形図が作成されているものの、日本周辺の全海域において同一精度でのマッピングには至らなかった。第2に、地震波探査によって取得された地殻断面が陸域から得た断面に比べ、分解能は甚だしく劣っていた。第3に、それらを用いて構築した構造発達史に、陸域に匹敵する精度で時間軸を入れることは、極めて困難であった。つまり、変動史に制約を与える決定的な層準を指定した地点から直接取得することは、海域ではいくつかの例外をのぞいて不可能であった。

しかし、1990年代後半になり、限定されていた高解像データが徐々に蓄積され、日本周辺の全海域で整いつつある。特に、海底地形情報に関しては、海上保安庁水路部から日本周辺海域 500mメッシュ水深データの提供が1998

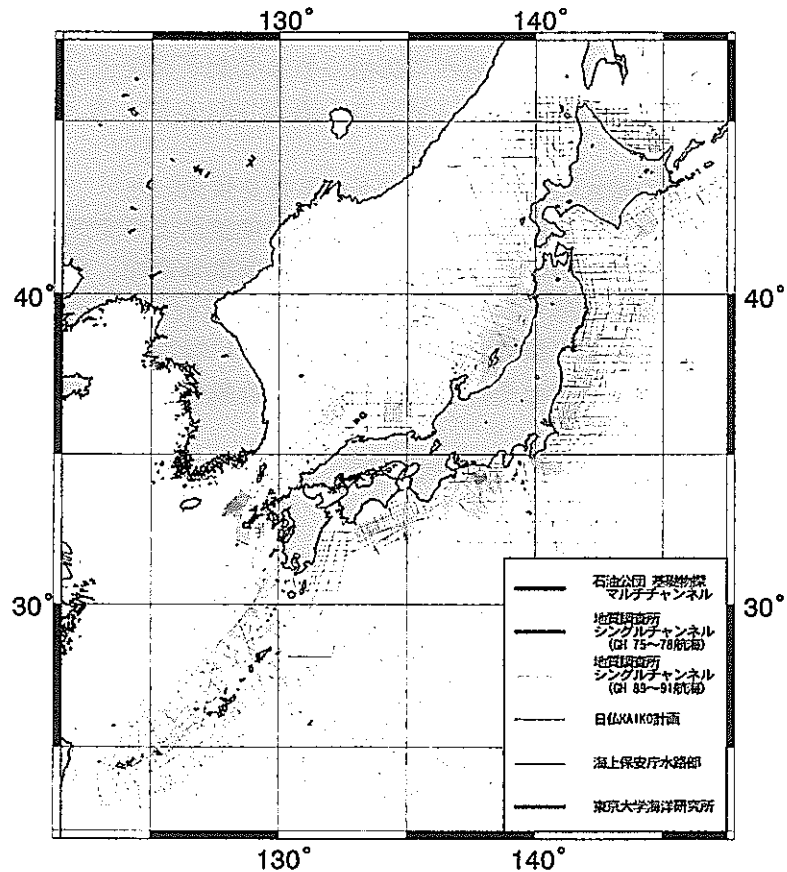


図. 1 今回のマッピングに使用した音波探査記録航跡図

* 徳山英一[主査](東京大学海洋研究所)、芦寿一郎(東京大学)、荒戸裕之(帝国石油株式会社)、伊藤康人(大阪府立大学)、岡村行信(独立行政法人産業技術総合研究所)、木村政昭(琉球大学)、倉本真一(科学技術庁、現独立行政法人産業技術総合研究所)、徐 垣(海洋科学技術センター)、日野亮太(東北大学)、本座栄一(熊本大学) 五十音順

年から開始された。また、地殻断面についても、高解像のマルチチャンネル／シングルチャンネル音波探査記録（石油公団が実施した大陸棚石油・天然ガス資源基礎調査で取得したマルチチャンネル音波探査記録、東京大学海洋研究所および地質調査所が取得したマルチチャンネル／シングルチャンネル音波探査記録、さらに、すでに論文として公表された高解像音波探査記録）が日本周辺の全海域で蓄積されつつある（図. 1）。さらに昨今では海底面の微細構造を識別可能な海底音響画像探査、さらに水平・垂直分解能がともに高い地殻断面を取得可能な深海曳航式音波探査が可能となり、一部の海域ではこれらのハイテクノロジーを用いて取得されたデータが使用可能である。だが一方では、精度の高い連続した時間軸を決定するための手段は1990年代後半に至っても限られており、海上ボーリングによる地層の採取以外に有効な方法は開発されていない。

以上の状況を踏まえ、やや時期尚早であるが、過去6 Ma以降の日本周辺海域の構造発達史を明らかにする目的で、北はオホーツク海海域から、南は南西諸島周辺海域まで、日本周辺の全海域にわたって地質構造マッピングを実施し、構造図（図. 2）およびアイソパックマップ（図. 3）を作成した。過去6 Ma以降とした事由は、日本列島をとりまくプレート運動をも含め、現在列島内で認められる変動が顕在化し、さらにテクトニック・フレームワークが確立された時期は早くとも過去6 Ma以降と考えられるためである。

変動構造の抽出にあたっては以下の基準を採用した。

- 1) 音波探査記録断面上での地層の変位および変形。
- 2) 海底地形のリニアメント（精密海底地形図、海底音響画像）。
- 3) 基準地形（例えば活動的な海底谷のoffset）の変動。
- 4) 断層の直接観察（深海カメラあるいは潜航調査）。
- 5) 湧水活動とそれに伴う深海生物群集の存在。

1) の基準で、特に海底面で変位・変形が識別され、また現在堆積の場合である場合は、活構造と認定することが出来る。また、2) の基準で堆積速度が速い場合には、やはり活構造と認定することが出来る。さらに、5) の基準からも活構造を識別することが可能である。

しかし、高解像の音波探査データが蓄積されてきているとはいえ、実際には各海域によってデータの密度および精度が偏っている。だが日本周辺海域全域を統一的な視点で編集するために担当委員において議論を行い、記録の解釈基準などの統一を出来る限り行った。さらに、隣接する海域の解釈結果を持ち寄り摺り合わせなども行い、データの密度や精度の不均質さを補った。

また、この試みで最大の困難は時間軸の決定であった。上述のように精度の高い連続した時間軸の決定には、いまだ海上ボーリング以外に有効な手段は開発されていない。今回は、石油公団所有の大陸棚石油・天然ガス資源基礎調査で取得された基礎試錐資料、日本周辺海域で実施された国際深海掘削計画の掘削データを中心として用いた。しかし、データボリュームが限られているため、ドレッジ・データも一部使用した。

その結果、新たに求めた構造発達史のシークエンスは、時間軸の再検討により、変動時期が上下することは考えられる。表層に限れば、海上ボーリング以外の有効な地層取得手段を開発し、時間軸の精度を向上させることが望まれる。

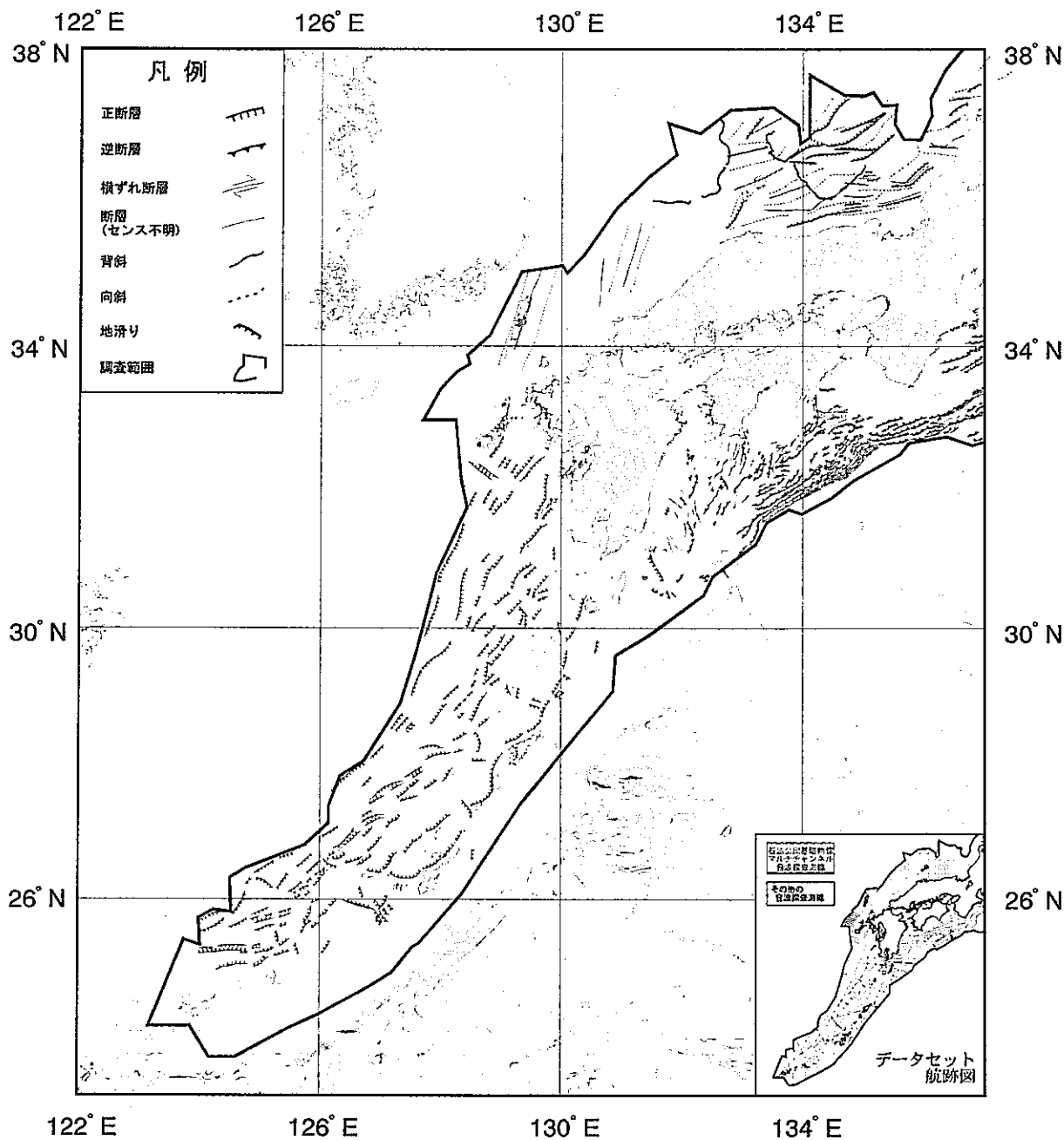


図. 2 (1) 6 Ma以降の西南日本周辺の海域地質構造図

変動構造の抽出にあたっては以下の基準を採用した。

- 1) 音波探査記録断面上での地層の変位および変形。
- 2) 海底地形のリニアメント (精密海底地形図, 海底音響画像)。
- 3) 変動基準地形 (例えば活動的な海底谷のオフセット) の識別。
- 4) 断層の直接観察 (深海カメラあるいは潜航調査)。
- 5) 湧水活動とそれに伴う深海生物群集の存在。

※海底地形コンターは 200m 間隔。海上保安庁水路部の 500m メッシュ水深データを用いて作成した。

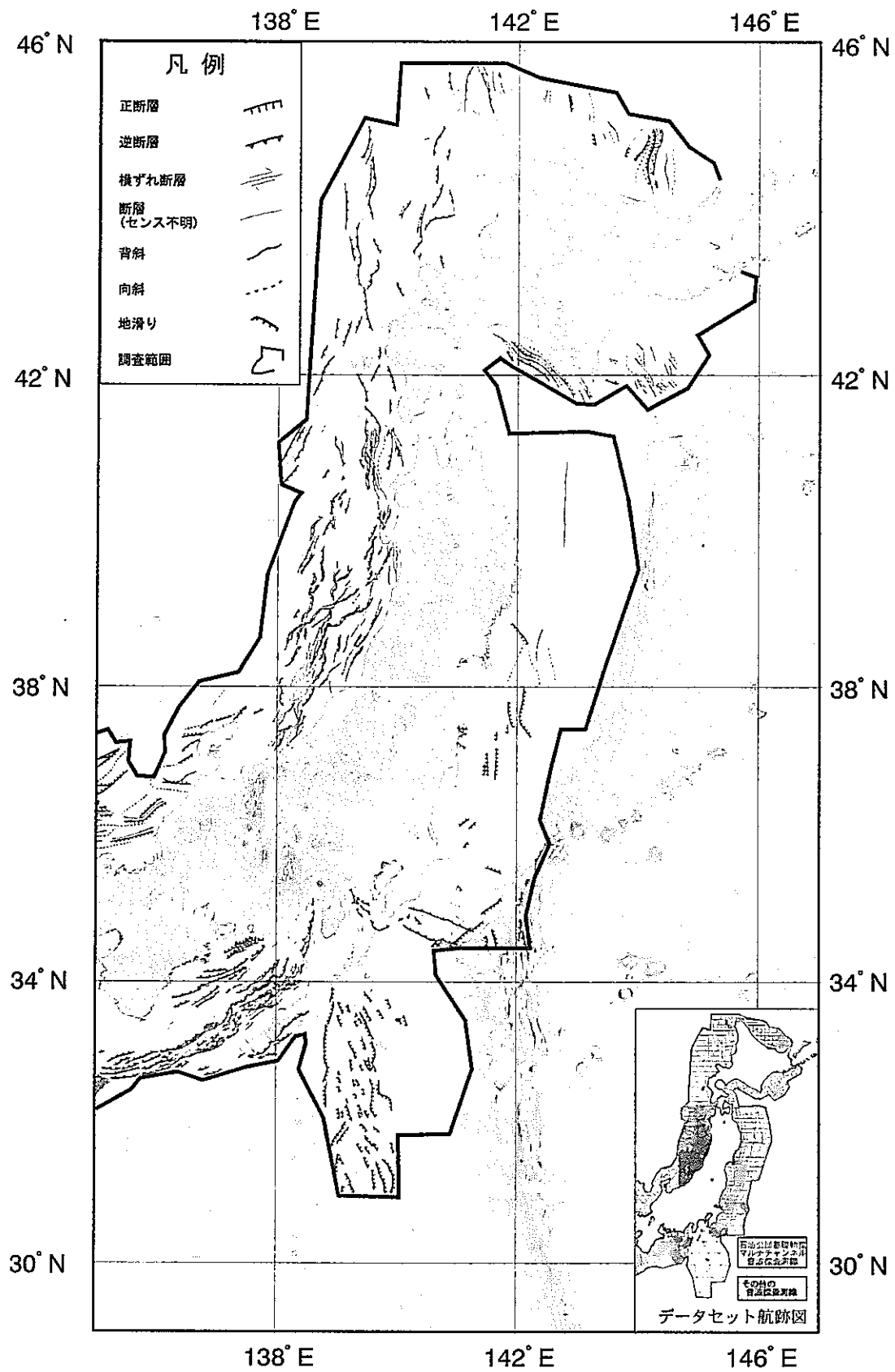


図. 2 (2) 6 Ma 以降の東北日本周辺の海域地質構造図

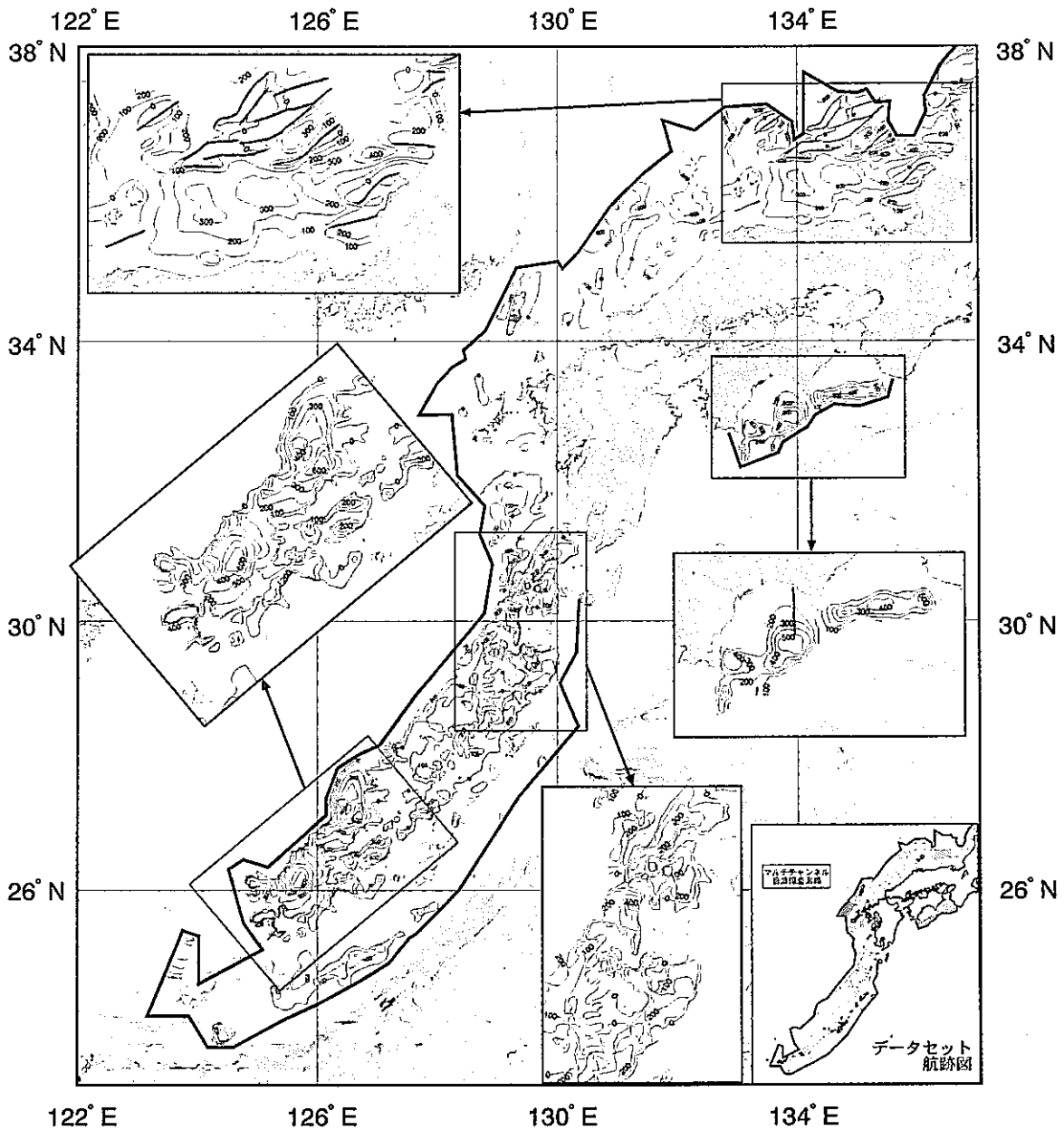


図. 3 (1) 6 Ma以降の西南日本周辺海域の堆積速度図 (単位:メートル/Ma)

マルチチャンネル/シングルチャンネル反射法地震探査記録 (石油公団が実施した大陸棚石油・天然ガス資源基礎調査で取得した探査記録、東京大学海洋研究所および地質調査所が取得した音波探査記録、さらに、すでに論文として公表された高解像音波探査記録) を基に、6 Ma以降の堆積物の層厚を推定した。そのデータおよび試錐等の掘削データから100万年あたりの堆積量を図示した。

※凡例は図. 3 (2) を参照

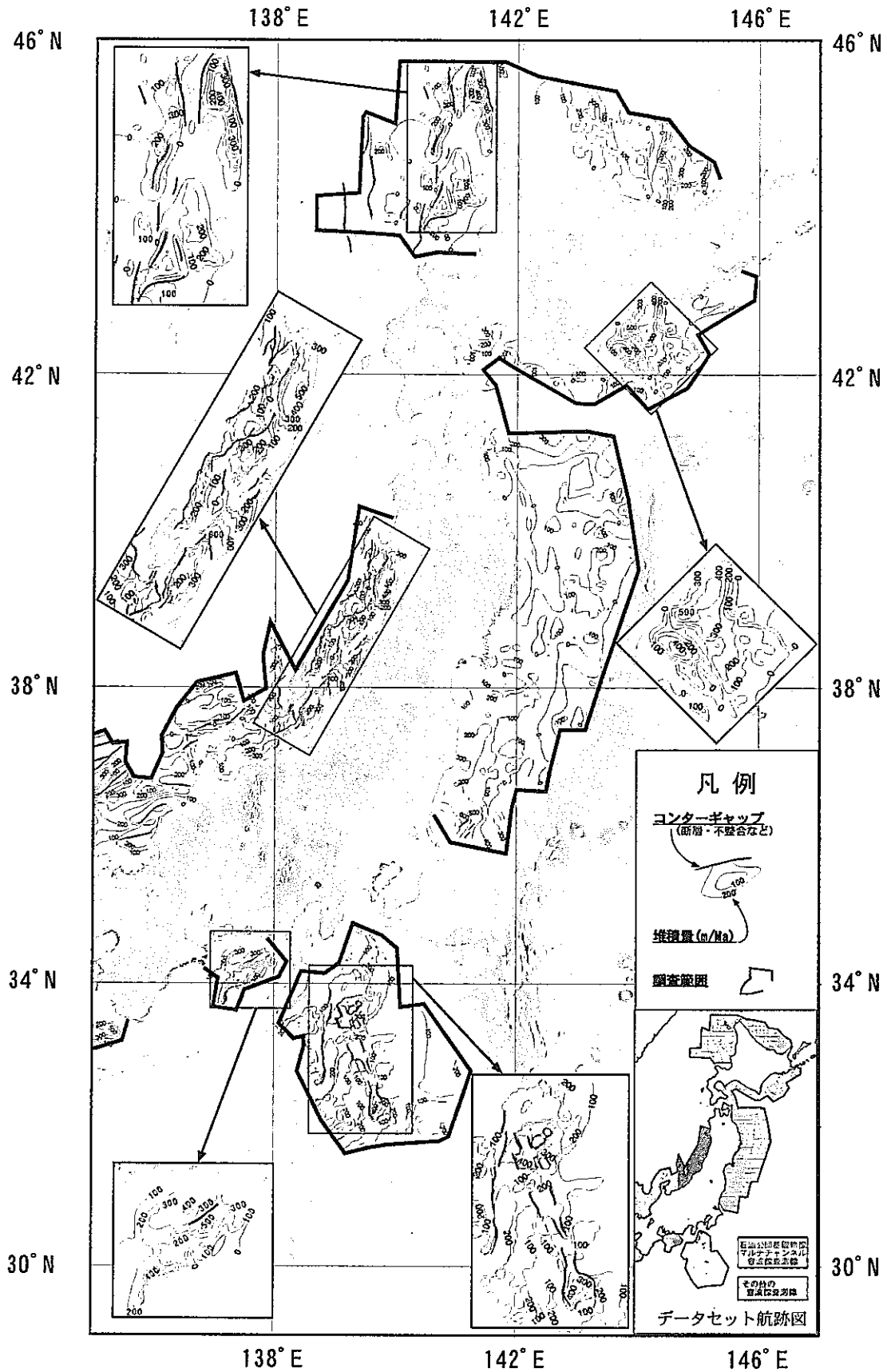


図. 3 (2) 6 Ma 以降の東北日本周辺海域の堆積速度図 (単位: メートル/Ma)

4. 断層活動に伴う周辺地下水流動系の変化に関する数値解析的検討

—野島断層周辺の二次元浸透流解析—

大澤英昭（核燃料サイクル開発機構），佐藤努（独立行政法人産業技術総合研究所）
古屋和夫，児玉敏雄（佐藤工業株式会社），酒井隆太郎（応用地質株式会社）

1. はじめに

断層活動によって周辺地盤の地下水流動系がどのように変化したかを把握することは，地質環境の長期安定性を考える上で重要である．兵庫県南部地震（1995年1月17日）が発生した直後から現在まで，淡路島北部の野島断層周辺では様々な地下水流動の変化が生じている．著者らは，1997年6月および1998年1月において淡路島北部の地下水調査を実施した．その調査結果および既往文献より，①地震発生直後，野島断層近傍で湧水が発生し，湧水は次第に減少した1），②内陸部北淡町数カ所の地点において水位が10mから70m程度低下しており，1998年1月時点でも回復していない2），③内陸部の山地尾根部に位置するぬるゆ温泉においては水位の回復や湧水量の増加が確認された，④東側に位置する鍾馗の清水では，地震後湧水が停止し，1998年1月時点では湧水が認められない，等のことが判明している．

これらの複雑な地下水挙動の変化について，地震による地盤の透水性の変化がその要因の一つとして考えられる．本研究では地震による地盤（花崗岩風化部）の透水性の変化に着目し，透水係数をパラメータとする非定常浸透流解析を行い，設定した透水性の妥当性について検討した．

2. 数値解析の方法

数値解析には，二次元飽和・不飽和浸透流解析手法を用い，次のような手順で解析を行った．

[Step1] 降雨を考慮した定常計算による初期状態の設定：一定の降水量を地表面に与えた定常計算を行い，地震前の地下水の状態を再現する．

[Step2] 地震を想定した透水係数の変更：Step1で最高の水位となる地点の水位が，2ヶ月で約70m低下する花崗岩風化部の透水係数を推定し，それを用いて2ヶ月の非定常計算を行う．

[Step3] 地盤の透水性の回復：Step2の計算終了後，花崗岩風化部の透水係数を地震前の値，あるいは現在計測されている透水係数の値に戻し，3年後までの非定常計算を行う．

3. 物性値および境界条件

解析領域は，淡路島北西部江崎と南東大磯を結ぶ鉛直断面とする（図-1）．図のように地層区分を行い，各物性値を表-1のように設定した．

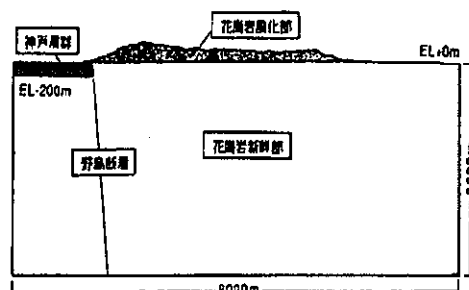
表-1 地盤の水利特性

| 岩 盤 | 透水係数 (cm/sec) | 有効間隙率 (%) | 比貯留係数 (1/cm) |
|--------|--------------------|--------------|--------------------|
| 花崗岩新鮮部 | 1×10^{-6} | 0.3 | 1×10^{-5} |
| 花崗岩風化部 | K1 | 10.0 | 1×10^{-5} |
| 神戸層群 | 1×10^{-5} | 3.0 | 1×10^{-5} |
| 野島断層 | 1×10^{-4} | 25.0 | 1×10^{-5} |

ここで，K1（花崗岩風化部の透水係数）は，浸透流解析の結果が，観測的事実と整合的になるように変化させる．また，境界条件は，

図-1の解析モデルにおいて，左右の境界は水位固定（EL+0m），下部の境界を不透水とした．

図1 解析モデル



4. 解析結果

検討の結果、地震前の地下水挙動の状況および地震直後～地震後 2 ヶ月程度で内陸部の水位が 70m 低下したという報告に整合的な、地震後 2 ヶ月までの K1 は、Step1: $1.0 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 、Step2: $3.0 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ と確認された。Step3 では、調査結果による値 $K1=5.9 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ および地震前の状態 $K1=1.0 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ とした場合について計算を行った。解析結果より、Step3 において、K1 を地震前の状態に戻した場合に、ぬるゆ温泉等内陸部において地下水位の長期的回復がみられること、また、鍾馮の清水付近においては水位の回復がみられないこと等がわかった。これらのことは、観測的事実と一致している。地下水位および湧水箇所の時間変化を図-2 に示す。一方、 $K1=5.9 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ にした場合については、Step3 において内陸部のいずれの地点においても、水位および湧水の回復がみられなかった。したがって、水位の長期的回復に整合的な Step3 の花崗岩風化部の透水性は、地震前に近い値になるものと考えられる。

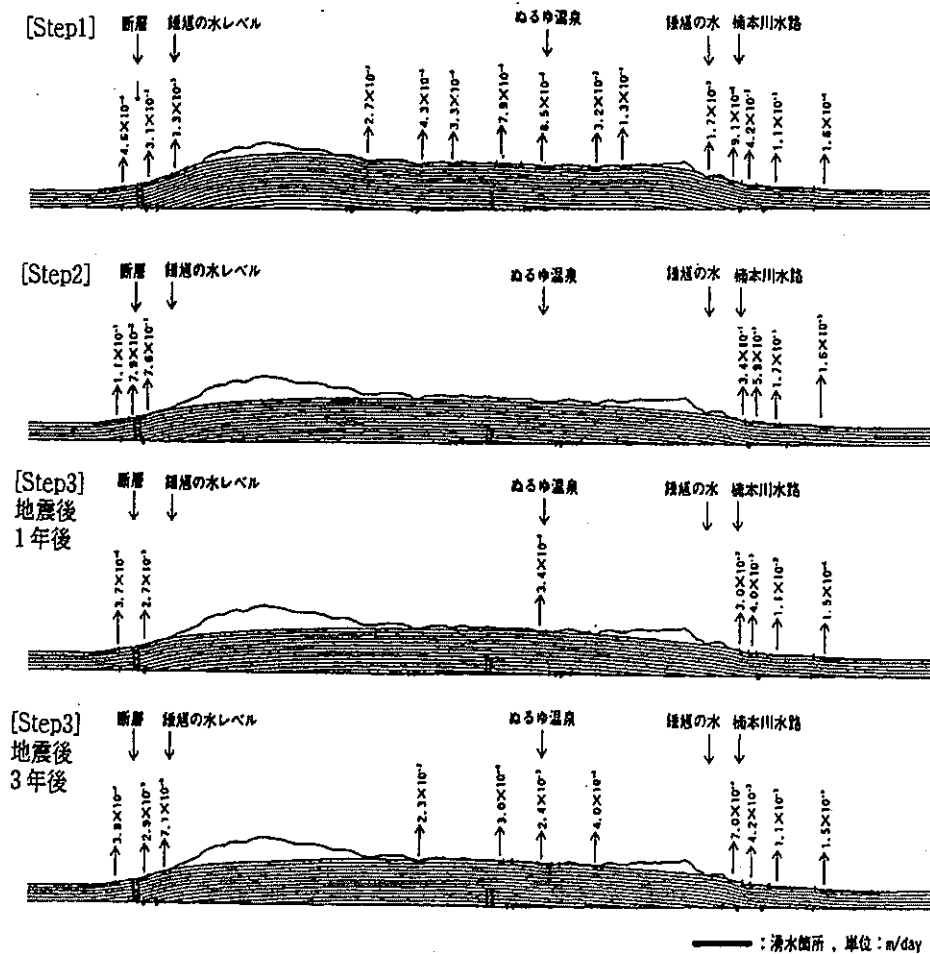
5. まとめ

花崗岩風化部の透水係数に着目して、地震後の地下水挙動の浸透流解析を行った。観測的事実との比較により、淡路島北部の花崗岩風化部の透水性は、地震直後 2 オーダー程度増加し、その後 3 年間で 1 オーダーから地震前の値までの範囲で回復（低下）している可能性が考えられる。

参考文献

- 1) 佐藤努ほか：1995 兵庫県南部地震後に生じた淡路島の湧水，地質ニュース 496 号，pp. 61-66，1995。
- 2) 長田昌彦ほか：淡路島北部における地震後の地下水挙動，日本応用地質学会平成 9 年度研究発表会講演論文集，pp. 237-240，1997。

図-2 圧力水頭および湧水量の時間変化



D 9

5. 日本周辺海底地質図および音波探査プロフィールデータベース

中尾征三・湯浅真人・倉本真一・長谷川功（独立行政法人産業技術総合研究所）

中司昇（核燃料サイクル開発機構）

高木俊男（核燃料サイクル開発機構，現サンコーコンサルタント株式会社）

長谷川正・畑山一人（総合地質調査株式会社）

1. はじめに

地質環境の長期安定性を評価する上では、地下深部までの地層の分布状態や、地質構造を把握することが不可欠である。特に、音波探査調査は海底下深部の微細な地質構造調査に有効であり、地質調査所（現独立行政法人産業技術研究所）は日本周辺海域の音波探査記録データを数多く保有している。音波探査記録はその独特の記録方式により、初めての利用者には敷居の高いものであるが、コンピュータ上で航跡図を表示し、測線から編集済みの音波探査記録画像にリンクするデータベースを作成すれば、さほど困難な作業を伴わずに音波探査記録を利用できる。そこで、1997年から1999年にかけて、100万分の1海底地質図（地質調査所発行）作成に使用した、日本周辺海域の音波探査記録のデータベース化を行った。

本データベースでは、CD-ROMの容量等の問題で、音波探査記録画像は低解像度のものとなっているが、音波探査プロフィールのインデックスとしての役割は十分に果たしていると言える。

2. データベース作成の経緯

地質調査所は1975年から1980年にかけて、日本周辺海域においてシングル・チャンネルの音波探査調査を行った。音源はエアガンであり、記録のレンジは4秒である。地質調査所はこれらの記録を基に、100万分の1海底地質図（本座他，1977～1982）を作成・出版した。音波探査の反射断面はチャート（記録紙）に記録されるが、地質調査所ではチャートを写真撮影し、紙より劣化の少ないネガ・フィルムとして保存している。

音波探査記録ネガ・フィルムは、もともと連続した1つの長い巻物の様なチャートをコマ撮りしたものであったが、1997年にフィルム・スキャナによるデジタル化（数値化）および画像コンパイル等を行い、測線毎に分割された音波探査プロフィールを完成させた。また、1998年には、300万分の1日本周辺海底地質図（井上・本座，1983）をデジタル化し、さらに水深0～1,500mに限り地質解釈を行い、音波探査記録画像にそれらの情報を加えた。1999年には、簡易GISソフト“GeomapZ”（雷他，1998）で表示・処理できるように、航跡・画像データの再編集を実施した。さらに、日本地質アトラス（地質調査所，1982）より解説図・文を引用し、データベースに加えた。

これらの作業により、統合的・海域地質データベースが完成した。

3. データベース CD-ROM の内容について

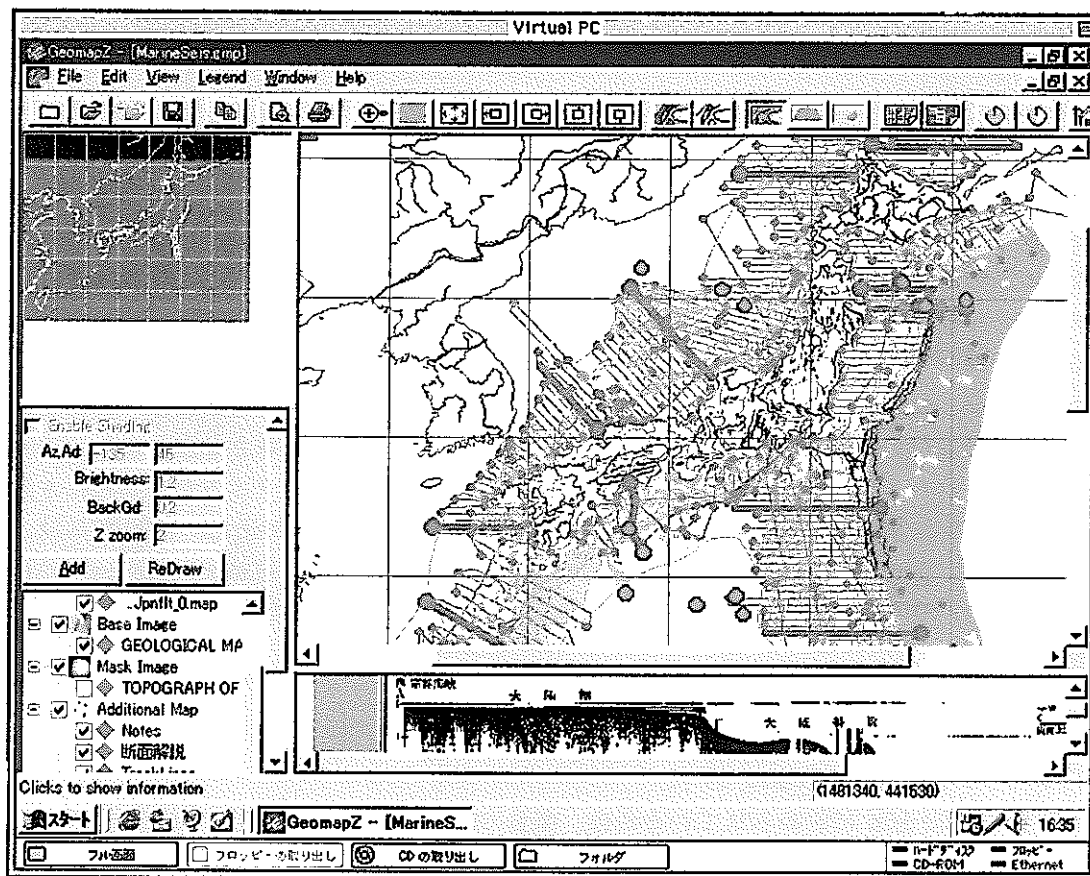
データベース CD-ROM に収められているのは、簡易 GIS ソフト “GeomapZ”，海底地質図（数値地質図），航跡データおよび音波探査記録画像である。CD-ROM を CD-ROM ドライブ にセットすると、自動的に “GeomapZ” が起動するようになっている。CD-ROM に収められている “/Geomapj/MarineSeis.gmp” が本データベースのベース・ファイルであり、メニューの〈File〉→〈Open〉でこのファイルを開くと日本周辺海域図が表示される。この状態から、海底地質図や

航跡図を日本周辺海域図に重ねて表示できる。音波探査記録画像は航跡図中の測線からリンクする形式をとり、各海域の特徴的な断面に関しては、日本地質アトラスの解説図・文も表示される。同じく、日本地質アトラスから引用した情報として、採泥による柱状図もデータベースに組み込まれている。

4. 今後の課題

シングル・チャンネル式の音波探査記録は、マルチ・チャンネル式のものとは異なり、単なる絵（画像データ）に過ぎない。このことが、航跡図と音波探査記録との位置座標の対応を非常に困難にしている。本データベースでは、航跡データと音波探査記録画像が共有するデータは時刻データのみである。このことは、時刻データのみが航跡と音波探査記録画像を結びつける唯一の手がかりであることを示している。今後、同様なデータベースを作成する場合、音波探査記録を単なる画像として扱うのではなく、より応用性のあるデータに発展させることが必要であると考えられる。

また、本データベースはメディア（記録媒体）として 650MB の CD-ROM を使用しているが、メディアの容量不足やプログラムのメモリ制限のため、音波探査記録画像の解像度を落とさざるを得なかった。本データベースは、あくまでも音波探査プロファイルのインデックスとしての位置付けであるので、別途高解像度の音波探査記録画像集を用意する予定であるが、汎用性を取るか、データベースとしての完成度を取るか、選択が難しい所である。



データベース画面例

6. 野島断層 3次元・2次元高分解能反射法地震探査

河村知徳(東京大学地震研究所)・太田陽一(株式会社地球科学総合研究所)
荒井良祐(川崎地質株式会社)・小先章三(大和探査技術株式会社)
平田直(東京大学地震研究所)・伊藤谷生(千葉大学)
井川猛(株式会社地球科学総合研究所)・石丸恒存(核燃料サイクル開発機構)

1995年1月の兵庫県南部地震により地表に出現した断層周辺において、副断層・枝断層などを含めた地下構造形態を明らかにするために、3次元反射法地震探査(1995年度)および2次元高分解能反射法地震探査(1997年度)を実施した。

3次元調査は、兵庫県北淡町小倉周辺の野島断層を中心として一辺約200mの正方形の領域に10mのメッシュ状に440ヶ所の受振点を設け、ミニインパクトを震源として領域内部および周辺の道路上並びに牧草地で合計141ヶ所の発震点を設け、現地調査を実施した。2次元高分解能調査は、野島断層を横断する方向に5m間隔で約200ヶ所の受振点を設けて高周波受振器(28Hz)を設置し、ミニパイプを震源として約180ヶ所で発震する方法で実施した。

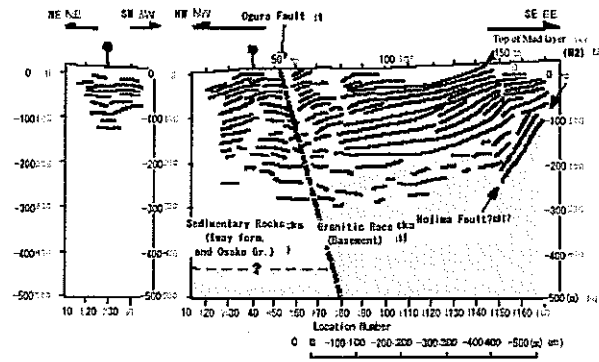
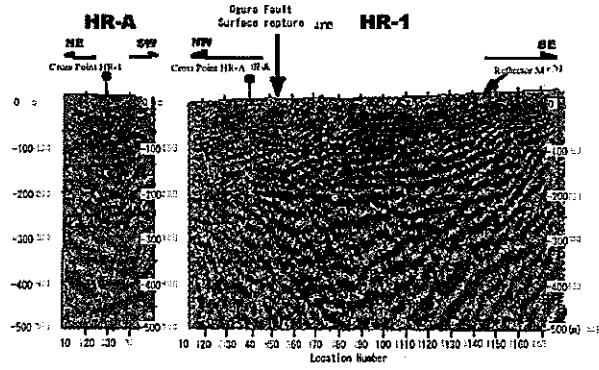
3次元現地調査で得られたデータに対しては静補正を中心とした3次元データ処理を実施することにより、調査域を5m×5mの区画に分割した重合トレースが得られ(平均25重合)、重合断面図、マイグレーション断面図、タイムスライス等が得られた。高分解能2次元データは、静補正他の2次元データ処理が行われCDP間隔2.5mの断面図が得られた。

断層を境に海側ブロックでは連続性の良好でない水平/やや西傾斜の反射面が認められ、山側ブロックでは北西に傾斜した連続性の良い反射面が認められた。タイムスライス上では東にゆるく凸に湾曲した構造が認められ、これら2つのブロックの境界面の面的分布はタイムスライス上でより明確に確認でき、断層面の地下構造を把握する調査手法として、3次元反射法地震探査の適用が有効性が確認できた。

地表地質調査他の既存資料によれば、野島断層は、北淡町小倉地区において、いったん南へ屈曲し南西へのびる野島断層と、そのまま南西へのびる小倉断層に分岐する。小倉断層および野島断層は富島南方では南北性のセンスを持つ富島断層(荒井, 1998)によって接続している。その結果、小倉地区には四方を断層に囲まれた菱形のエリアが存在している。菱形のエリアでは、地表における走向傾斜から、鮮新統～更新統の大阪層群が北東-南西方向の軸に沿って向斜状の構造を持つなど、複雑な地下構造形態が予想される。加えて、エリアの北東側と南西側に断層を挟んで中新世岩屋累層が露出していることから、菱形のエリアにおける白亜系カコウ岩上面は相対的に落ち込んでおり、その結果として厚い堆積層が存在していると考えられる。野島断層の形成以来の活動史に関しては、未だ不明な点が多いが、これらのことは、小倉地区で四方を断層で囲まれたエリアが、野島断層が形成以来、どのような断層運動を経てきたかということを明らかにするための鍵となるエリアであることを示している。

3次元調査と2次元調査による地下構造調査の結果、小倉断層の走向傾斜は、淡路島北部における野島断層系の走向傾斜と同じく北東-南西方向で南東傾斜であるが、小倉地区における野島断層は、北西傾斜していることが明らかとなった。東西方向を小倉断層と野島断層に分けられた部分では、基盤花崗岩類上面が凹地状の構造を示しており、高橋ほか(1996)による重力探査の結果とも調和的であることがわかった。

本報告ではまず第1に、1995年に実施された各種反射法地震探査の到達点評価をおこない、その上に実行された高分解能反射法地震探査の詳細を報告する(図1)。第2に、各種物理探査結果、ボーリング掘削資料、地表地質調査データを結合して、小倉地域における白亜紀カコウ岩類基盤以浅の地下構造について考察する(図2)。



高分解能2次元反射法断面
 一 小倉断層は南東傾斜、野島断層は北西傾斜を示している。
 二 地層層の傾斜は小倉断層より北西側で北西傾斜である。

図1 浅層高分解能測線断面 (HR-1, HR-A)

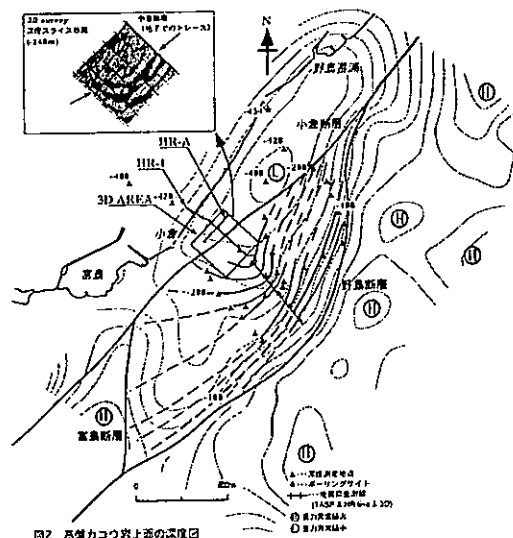
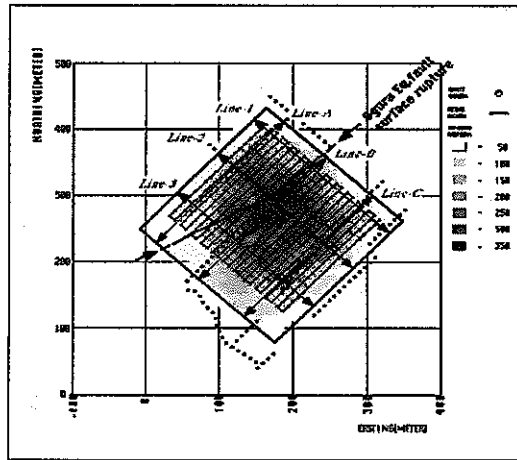
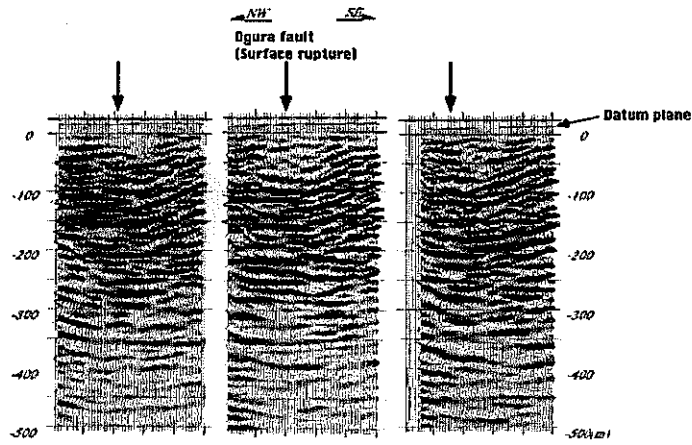


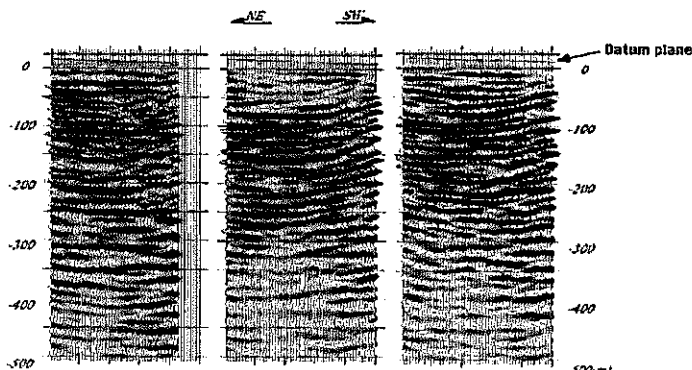
図2 基盤カコウ岩上面の深度図
 (重力異常図は高橋ほか (1996) より)



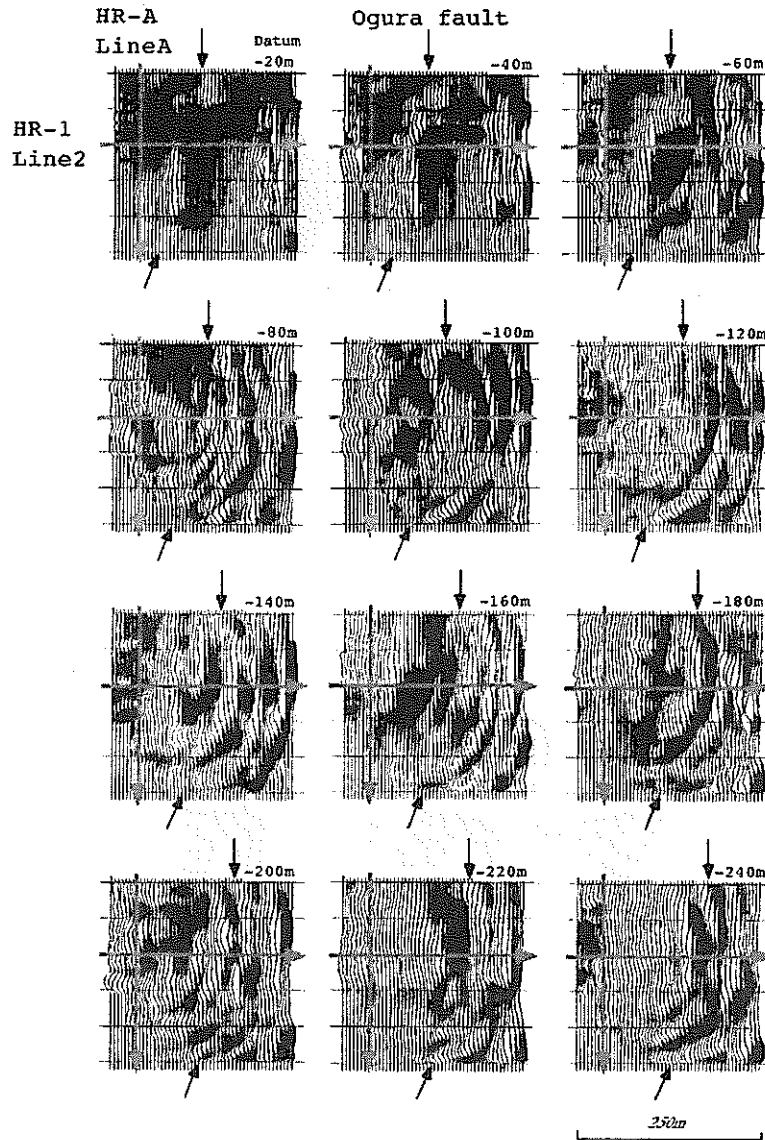
3次元反射法地層探査における反射点の分布図



3次元反射法地層探査における
北西-南東方向の2次元断面
→反射面の傾斜交差点を小台階層が通過する



3次元反射法地層探査における
北東-南西方向の2次元断面



3次元反射法地震探査における
 深度スライス断面 (20mごとに表示)
 →断面右下側 (南東側) が小倉断層の
 上盤側にあたる。上盤側の反射面は
 向斜状の構造を示している。

参考文献

荒井良祐 (1998) : 淡路島北西部野島断層系の後期鮮新世における運動転換と現システムの成立、博士論文 (千葉大学)、p.191
 高橋亨・野崎京三・島裕雅・山根誠・五十嵐亨 (1996) : 野島断層における各種物理探査法の適用実験、物理探査、49巻、6号、498-510

7. 間隙水圧の地震時動的挙動解析

黒瀬歩 (仏エコールポリテクニック)、Brouard.B. (仏Brouard Consulting)
 青木和弘・前川恵輔 (核燃料サイクル開発機構)、川村淳 (三菱マテリアル資源開発株式会社)

釜石鉱山地震観測データ等の地下観測データを解析し、地下水圧変動と岩盤挙動の相互関係を明らかにするため、地震時の地下水圧変動と岩盤挙動および地下構造物の応答を予測・解析する3次元計算コード (LOSSIF) を作成した。本コードでは周辺岩盤を無限媒体と考え、その中に円筒形坑道を構造物のモデルとし、無限媒体内で伝播する地震波を平面波と仮定している。釜石鉱山で実測された水圧データ (KWP-2) と比較した。

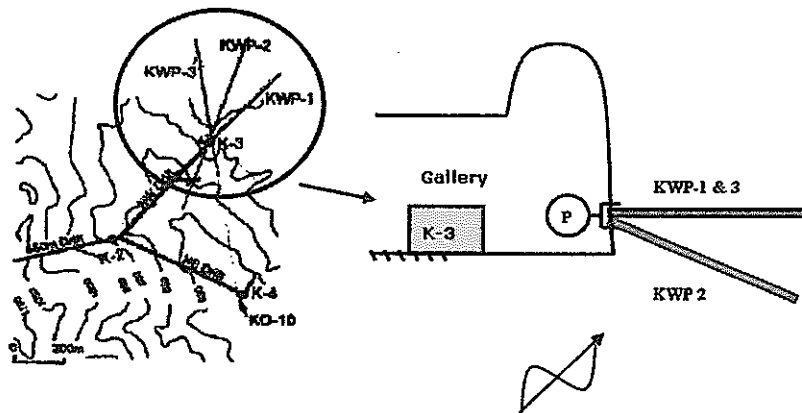


Figure 1

Computational steps:

○ Input

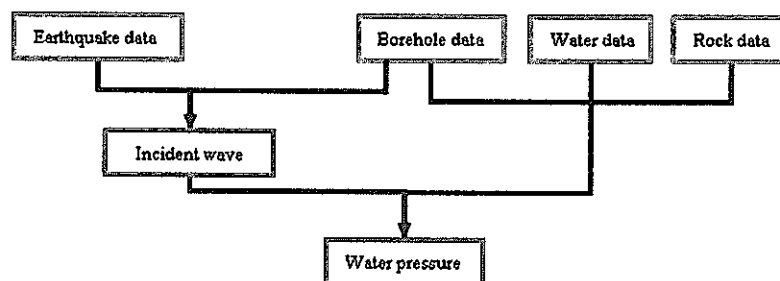
- Earthquake data: Kamaishi earthquake number and S-wave arrival time.
- Rock characteristic data: density, S-wave velocity, Poisson's ratio
- Fluid characteristic data: density, sound velocity
- Borehole data: spatial orientation, diameter

○ Computation

- Read the recorded earthquake motions in three directions (North-South, East-West, Up-Down)
- Compute the incident motion from the recorded motions and the borehole orientation
- Compute the water pressure variation in time and frequency domains

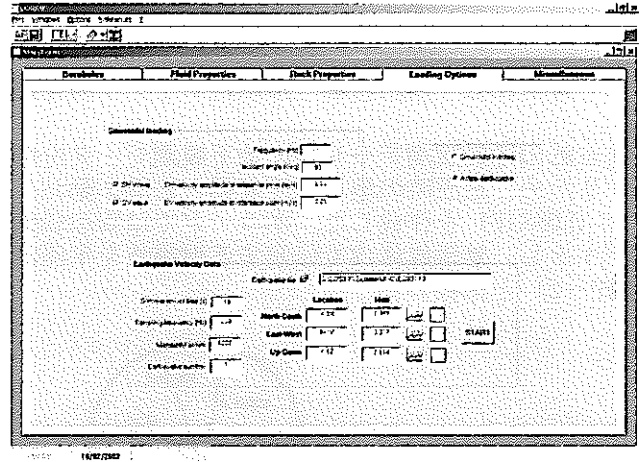
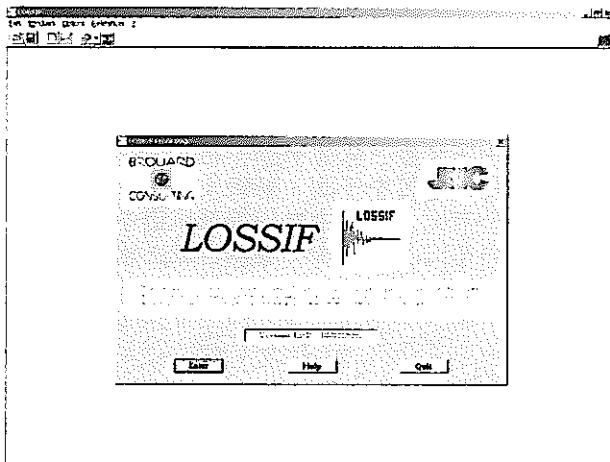
○ Output

- Plotting motion and water-pressure in time and frequency domains
- Comparison between measured and computed water pressures
- Save results in output files

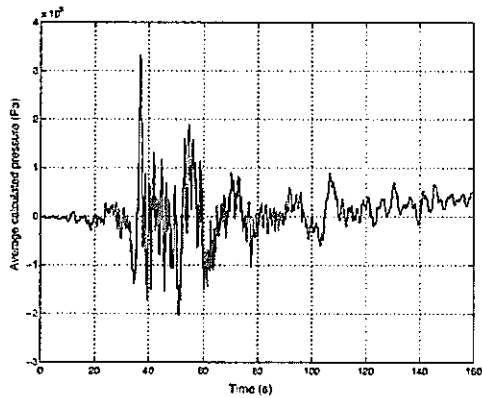


LOSSIF - Calculation of earthquakes effects on water pressure

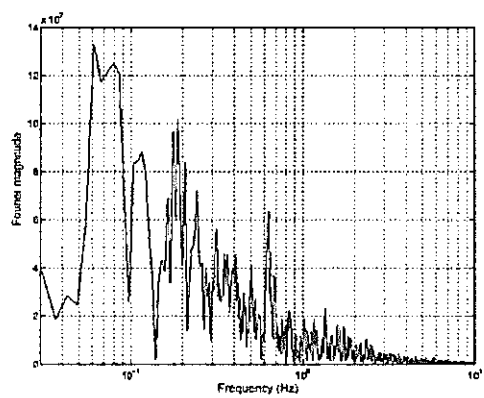
Input



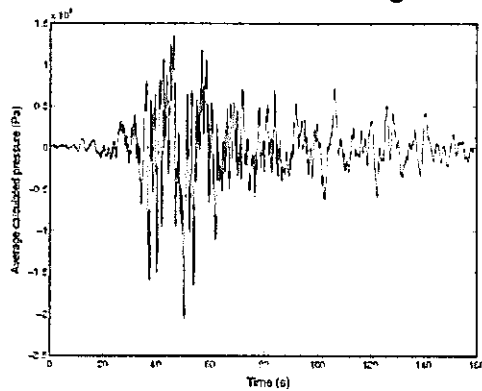
Graphical Output example: computation for borehole KWP-2 during earthquake No.206



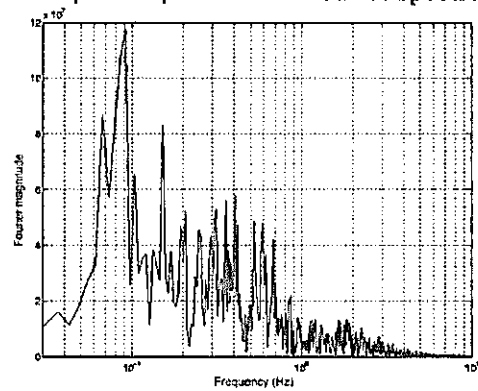
Computed pressure: time signal



Computed pressure: Fourier spectrum



Measured pressure: time signal



Measured pressure: Fourier spectrum

8. 日本の第四紀火山カタログ

第四紀火山カタログ委員会^{#1}

1. はじめに

地層科学研究の1つの分野である「火山活動に関する研究」は、長期的な将来にわたって火山活動による地層環境への影響を回避するために、火山活動の時間的・空間的変遷を把握すると共に、新たな火山活動が開始する可能性を予測する研究である。これらの研究は火山学における最先端の研究課題であり、ここで得られた成果は地層科学研究ばかりでなく、火山学の進歩にも大きく貢献するものと考えられる。

「日本の第四紀火山カタログ」は、「火山活動に関する研究」の一環として、日本列島の第四紀における火山活動を総括し、特にマグマが地表へ噴出する様子を時間的・空間的に、なるべく定量的に記述することを目標として作成された。

ここでは、第四紀の範囲として、ほぼ2Maまでをとることにした。

2. カタログ作成の経緯

日本列島における第四紀火山の情報を収録したデータベースとしては、IAVCEIの前身が刊行した「活火山カタログ」や気象庁が刊行した「日本活火山総覧」、地質調査所が刊行した第四紀火山全体を収録した「日本の火山(第2版)」がある。しかしながら、これらは情報が活火山に限られているあるいは収録項目が限られているため、日本の火山の全体像を把握するためには、個々の火山の論文や研究報告書を検索する必要がある。

一方、近年になって若い火山岩の年代測定が精力的に進められた結果、第四紀火山としての認定そのものに修正が求められるケースが出ており、データベースの新たな構築が求められている。

こうした現状を背景として、第四紀火山カタログ委員会では、日本における第四紀火山についての基礎データのとりまとめを行ってきた。

本カタログの作成に際しては、「日本の第四紀火山体データベース」(荒牧・山崎編, 1984)を参考にした。

3. カタログの概要

本データベースは「日本の第四紀火山カタログ」と「日本の第四紀個別火山体カタログ」の二つのデータファイル(カタログ)から成り立っている。この2つは、以下に説明するように、それぞれ別の視点からまとめられた火山カタログである。

(1) 「日本の第四紀火山カタログ」(以降「火山カタログ」と略す)

個々の火山としてのまとめ方は、地質調査所「日本の火山第2版」(1981)とほぼ同様である。しかし、最近になって年代測定値が急速に増えたため、第四紀火山の認識・同定には、結果的に大幅な変更が生じ、火山の総数は348に増加した(図1参照)。

^{#1} 第四紀火山カタログ委員会：(宇井忠英(代表者)^{*1}・荒牧重雄^{*2}・河内晋平^{*3}・小林哲夫^{*4}・小山真人^{*5}・佐藤博明^{*6}・高橋正樹^{*7}・千葉達朗^{*8}・津久井雅志^{*9}・林信太郎^{*10}・梅田浩司^{*11}・湯佐泰久^{*11})

^{*1} 北海道大学大学院理学研究科 ^{*2} 東京大学名誉教授 ^{*3} 信州大学, 故人 ^{*4} 鹿児島大学理学部

^{*5} 静岡大学教育学部 ^{*6} 神戸大学理学部 ^{*7} 日本大学文理学部 ^{*8} アジア航測株式会社 ^{*9} 千葉大学理学部

^{*10} 秋田大学教育文化学部 ^{*11} 核燃料サイクル開発機構

1個のレコードとしてまとめた一つの「火山」の多くが、実際には複数の火山の集合である。たとえば支笏火山は支笏カルデラ、恵庭、風不死、樽前というひとつのカルデラと後カルデラ火山群をひとまとめにしたもので構成されている。また、たとえば鳥海火山という巨大な火山は、新山溶岩、象瀉岩屑なだれ、東鳥海火山（鳥海ステージⅢa）、鳥海ステージⅡc、鳥海ステージⅡa/b、古期火山体、鶯川玄武岩、天狗森火山岩というように細分された個別火山体から成り立っている。

上記の例からわかるように、個々の「火山」の概念は事例によって、また著者によってかなりの相違がある。現段階では、個々の火山の認定は各著者の判断に任せている。

“火山カタログ”には火山番号（日本の火山第2版をもとにしている）、火山名、著者、体積、年代範囲、緯度・経度（地形的、主火道）、個別火山体名（火山に属するもの）というデータが収録されている（表1参照）。

表1 火山カタログの内容

| データ | 備考 |
|--------|---|
| 火山番号 | 「日本の火山第2版」に記載された火山と一致する場合はその番号を示し、新しい火山が同定された場合は、「日本の火山第2版」に記載された地理的に近隣の火山の番号に小数点以下を追加してその火山の番号とした。 |
| 火山名 | 火山の名前。 |
| 著者 | 火山カタログの著者。 |
| 体積 | 火山の体積。詳細は個別火山体の火山体体積の説明を参照。 |
| 年代範囲 | 得られた噴火年代の範囲を示した。 |
| 緯度・経度 | 度分秒（123° 45' 56''）又は小数点（123.456°）で表示。 |
| （地形的） | 現在残存している地形に基づいて判断した火山体の最高点あるいは中心位置。 |
| （主火道） | 主要な火道を推定してその位置を示す。必ずしも現在の最高点や主峰の位置ではない。 |
| 個別火山体名 | “個別火山体カタログ”に収録されているレコードの内、この火山に属するものを示す。ここから“個別火山体カタログ”にリンクする。 |

(2) 「日本の第四紀個別火山体カタログ」 （以降“個別火山体カタログ”と略す）

“火山カタログ”でまとめた 348 個の第四紀「火山」の多くが、実際にはそれぞれ複数の火山の集合であることは前に述べたが、個々の構成要素である火山体一つ一つをそれぞれ別個のレコードとして記述したのが、“個別火山体カタログ”（「日本の第四紀個別火山体カタログ」）である。

“個別火山体カタログ”には火山番号、火山名、個別火山体名、別名、著者、個別火山体の位置、最高点高度、基底高度、緯度・経度（地形的、主火道）、分布面積、火山体体積、噴出物の分類、火山体の分類、層序、年代測定値、岩石名、分析値、引用文献というデータが収録されている（表2、図2参照）。

4. おわりに

これらのデータを用いて、日本列島における第四紀を通じた、時間的空間的な火山活動の解析を試みた。作成された数多くの時空分布図は別途公表されるが、日本列島の第四紀火山の平均的な姿（体積は 0～10km³、活動期間は 10～20 万年が最も多い。）や火山体の体積と活動の継続時間の関係、第四紀における火山フロントの移動、単成火山群の時間的空間的な分布等

の特徴があきらかになっている。

一方、日本列島に存在する火山は多く、現状では年代資料は十分ではなく、また地質調査もすべて行われているわけではない。今後の調査研究の進展により、さらにカタログデータの精度を向上させていく必要がある。

参考文献

荒牧重雄・山崎正男（編集）（1984）：日本の第四紀火山体カタログ。Nos. 1-194

地質調査所（1981）：200万分の1地質図「日本の火山第2版」

気象庁編（1991）：日本活火山総覧第2版

Kuno, H., editor" (1962) : Catalogue of active volcanos of the world including solfataras fields; Japan, Mariana, Kurile Islands, International Association of Volcanology

表2 個別火山体カタログの内容

| データ | 備考 |
|----------------|---|
| レコード番号 | 個別火山体の番号。 |
| 個別火山体名 | 個別火山体の名前。 |
| 別名 | 個別火山体の別名。 |
| 火山番号 | 個別火山体が属する火山の番号。 |
| 火山名 | 個別火山体が属する火山名。 |
| 著者 | 個別火山体カタログの著者。 |
| 個別火山体の位置 | 個々の火山体の位置（地理的な位置の他に、層序的な位置、火山の成長史における位置などを記述）。 |
| 最高点高度 | 現状の地形における最高点の高度。 |
| 基底高度 | 現状の火山体の基底面の最高点の高度（推定値を含む）。 |
| 緯度・経度 (地形的) | 度分秒 (123° 45' 56'') 又は小数点 (123.456°) で表示。 |
| (主火道) | 現在残存している地形に基づいて判断した火山体の最高点あるいは中心位置。 |
| 分布面積 | 個別火山体形成最盛時の分布面積。 |
| 火山体体積 | 火山体の体積は、各個別火山体ごとに以下のいずれかにより算出した。 (1) 最盛期の体積 (2) 現在の体積 (3) マグマの噴出総量 (体積) (4) マグマの噴出総量 (DRE) |
| 噴出物の分類 | 火山体を構成する噴出物の種類とそれぞれの体積 (量比) などを列記 |
| 火山体の分類 | SC(成層火山 急斜面・円錐形), SL(成層火山 緩斜面・円錐形), LC(溶岩丘), LF(溶岩流・溶岩台地), PC(火砕丘), LD(溶岩ドーム), MA(マール), CA(陥没カルデラ), PF(火砕流台地), NK(火山岩頸), RP(火山性裾野・火山性扇状地) |
| 層序 | 年代値や層序に基づいて、当該個別火山体の推定年代を記入した。直接の測定結果がない場合や長期に及ぶ場合は、年代の範囲で示した。 |
| 年代測定値 | 代表的な試料の年代値と誤差、測定方法、測定者、測定番号を記入した。また、引用文献番号を示した。 |
| 岩石名 | 玄武岩, 玄武岩質安山岩, 安山岩, デイサイト, 流紋岩, その他の岩石の相対的な存在量の概略 |
| 分析値 | 分析値のあるものについて、岩石名, SiO ₂ %, 文献などを示した。 |
| 引用文献 | 文献は主なものに限った。ただし、年代測定, 岩石の分析データを含む文献はできる限り引用した |

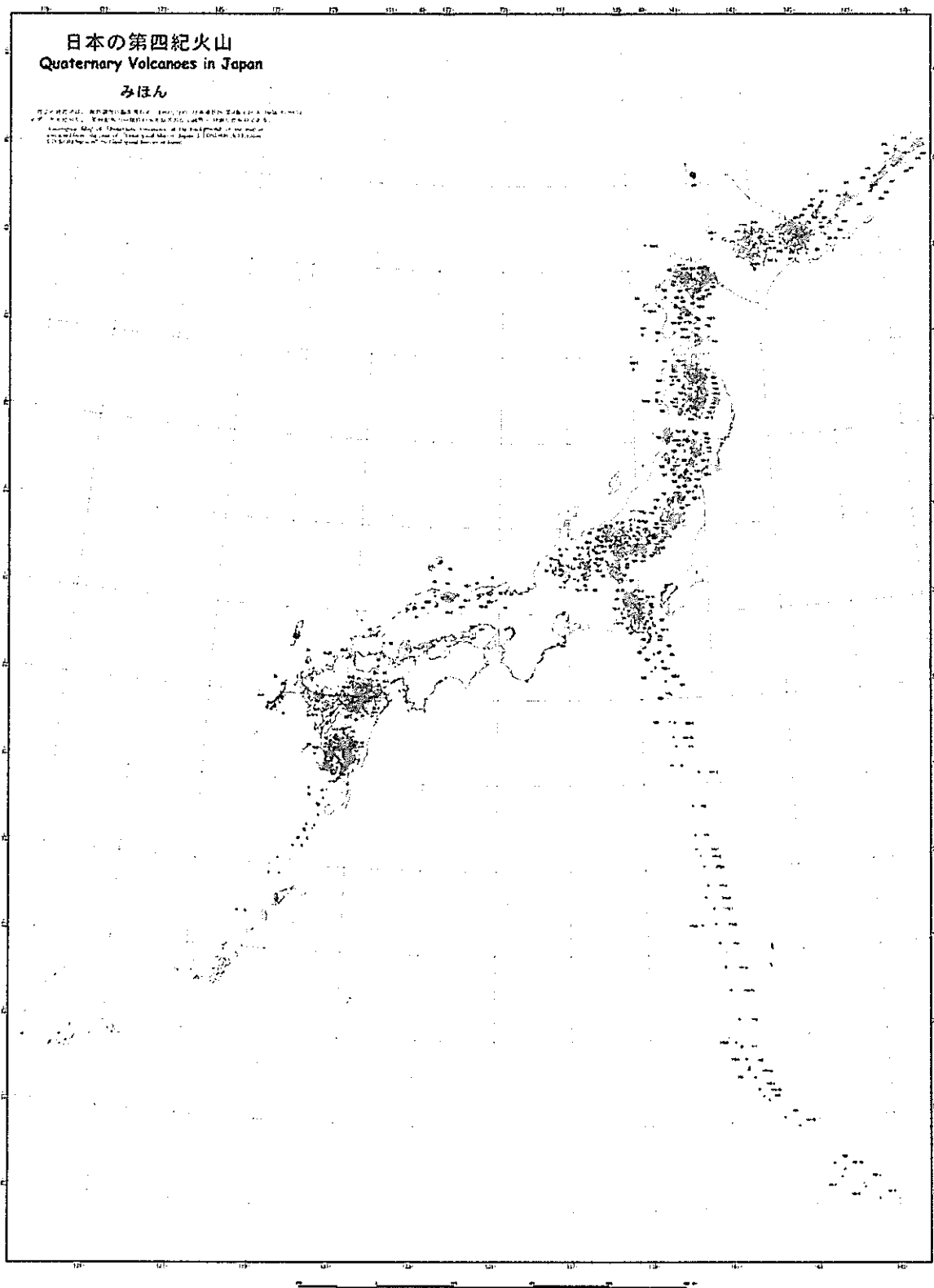


図1 第四紀火山分布図 (1:3,000,000 を縮小)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--|--|-------------------|---------------|---|---------------|----------------------|--------|------|-----|--|--|-----|--|--|-----|---|--|-----|---|--|-----|--|--|-----|--|--|-----|--|--|-----|--|--|-----|--|--|------|--|--|
| Top Page | | Back | Next | 全レコード数 743 | Search | Cancel Search | Print | Export | Help | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| リストアップ火山 | | 火山 | | リストアップ個別火山体 | | 個別火山体 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| English | レコード番号 | 個別火山体名 | | | 別名 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 28 | トムラウシ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 火山番号 | 火山名 | | | 登録年月日 | | 1997.2.19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 211 | トムラウシ | | | | | 修正年月日 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 日本の火山第1巻 | | 日本の火山第2巻 | | JAV 活火山カタログ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 178 | 211 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 著者 | 石崎素男 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 個別火山体の位置 | 黄金ヶ原火山と五色ヶ原火山の鞍部に位置する単成火山群 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地形的 | 緯度 | | 経度 | | 最高点高度 | | 2141 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 基底高度 | | 1900 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 主火道 | 43°31'28" N | | 142°51'10" E | | 分布面積 | | 17.6 km ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 火山体体積 | | 5 km ³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 噴出物の分類 | 溶岩流 (0.7 cu.km) | | 溶岩円頂丘 (4.3 cu.km) | | 火山体の分類 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 溶岩円頂丘+溶岩流 (LD+LF) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 層序 | 30万年前以降 (細粒噴出物のK-Ar年代より推定) | | | | 年代測定値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 溶岩: 0.05±0.01Ma, K-Ar 年代, 石崎素男, 96-3, [2] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 溶岩: 0.15±0.04Ma, K-Ar 年代, NEDO, [1] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 溶岩: 0.29±0.05Ma, K-Ar 年代, NEDO, [1] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 岩石名 | 玄武岩 | 玄武岩質安山岩 | 安山岩 | デイサイト | 流紋岩 | その他 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | なし | 稀 | 主要 | 少ない | なし | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 分析値 | 01-wz-bq-nug-top-hp dacite (S102=05.02°02.18%) [3] Tab.3-2, (12個) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01-wz-bq-nug-top-hp andesite (S102=01.48°55.02%) [3] Tab.3-2, (54個) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 01-wz-bq-nug-top-hp basaltic andesite (S102=54.01°53.20%) [3] Tab.3-2, (17個) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | * mafic inclusion in dacitic and andesitic host lavas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 引用文献 | <table border="1"> <tr> <td>[1]</td> <td>新エネルギー・高度技術開発機構 (NEDO) (1993) 平成五年厚生労働省資源総合研究所 (第3巻) 北海道総合研究所 北海道火山噴出物調査報告書 火山噴出物調査報告書</td> <td>New Energy Development Organization (1993) Rep. Geothermal Resources, Tohoku area, in Japanese</td> </tr> <tr> <td>[2]</td> <td>石崎素男・野田光彦・原水一樹・青柳和男 (1996) 北海道中央研究所・トムラウシ火山群のK-Ar年代, 地質, 90, 229-233</td> <td>Ishizaki, Y., Nishigawa, M., Furukawa, K. and Saito, K. (1996) K-Ar age of the lavas from the Tomuraushi volcanic group, central Hokkaido, J. Japan. Assoc. Min. Petrol. Econ. Geol., 90</td> </tr> <tr> <td>[3]</td> <td>石崎素男 (1993) 北海道地質調査所・トムラウシ火山の地質学調査報告書 地質学調査報告書 地質学調査報告書</td> <td>Ishizaki, Y. (1993) Geology and Petrology of study of the Tomuraushi volcanic group, Central Hokkaido, Japan. Magma Melt and andesite study of and paper number, Ph.D.</td> </tr> <tr> <td>[4]</td> <td>石崎素男 (1992) 北海道地質調査所・トムラウシ火山の地質学調査報告書 地質学調査報告書 地質学調査報告書</td> <td>Ishizaki, Y. (1992) Magma Melt, Hokkaido Univ. in Japanese with English abstract</td> </tr> <tr> <td>[5]</td> <td>石崎素男 (1993) 北海道地質調査所・トムラウシ火山群の地質学調査報告書 地質学調査報告書 地質学調査報告書</td> <td>Ishizaki, Y. (1993) Geology of the Tomuraushi volcanic group, central Hokkaido, J. Japan. Assoc. Min. Petrol. Econ. Geol., 90, 177-178, in Japanese with</td> </tr> <tr> <td>[6]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>[7]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>[8]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>[9]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>[10]</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | | | | | | | | | [1] | 新エネルギー・高度技術開発機構 (NEDO) (1993) 平成五年厚生労働省資源総合研究所 (第3巻) 北海道総合研究所 北海道火山噴出物調査報告書 火山噴出物調査報告書 | New Energy Development Organization (1993) Rep. Geothermal Resources, Tohoku area, in Japanese | [2] | 石崎素男・野田光彦・原水一樹・青柳和男 (1996) 北海道中央研究所・トムラウシ火山群のK-Ar年代, 地質, 90, 229-233 | Ishizaki, Y., Nishigawa, M., Furukawa, K. and Saito, K. (1996) K-Ar age of the lavas from the Tomuraushi volcanic group, central Hokkaido, J. Japan. Assoc. Min. Petrol. Econ. Geol., 90 | [3] | 石崎素男 (1993) 北海道地質調査所・トムラウシ火山の地質学調査報告書 地質学調査報告書 地質学調査報告書 | Ishizaki, Y. (1993) Geology and Petrology of study of the Tomuraushi volcanic group, Central Hokkaido, Japan. Magma Melt and andesite study of and paper number, Ph.D. | [4] | 石崎素男 (1992) 北海道地質調査所・トムラウシ火山の地質学調査報告書 地質学調査報告書 地質学調査報告書 | Ishizaki, Y. (1992) Magma Melt, Hokkaido Univ. in Japanese with English abstract | [5] | 石崎素男 (1993) 北海道地質調査所・トムラウシ火山群の地質学調査報告書 地質学調査報告書 地質学調査報告書 | Ishizaki, Y. (1993) Geology of the Tomuraushi volcanic group, central Hokkaido, J. Japan. Assoc. Min. Petrol. Econ. Geol., 90, 177-178, in Japanese with | [6] | | | [7] | | | [8] | | | [9] | | | [10] | | |
| [1] | 新エネルギー・高度技術開発機構 (NEDO) (1993) 平成五年厚生労働省資源総合研究所 (第3巻) 北海道総合研究所 北海道火山噴出物調査報告書 火山噴出物調査報告書 | New Energy Development Organization (1993) Rep. Geothermal Resources, Tohoku area, in Japanese | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [2] | 石崎素男・野田光彦・原水一樹・青柳和男 (1996) 北海道中央研究所・トムラウシ火山群のK-Ar年代, 地質, 90, 229-233 | Ishizaki, Y., Nishigawa, M., Furukawa, K. and Saito, K. (1996) K-Ar age of the lavas from the Tomuraushi volcanic group, central Hokkaido, J. Japan. Assoc. Min. Petrol. Econ. Geol., 90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [3] | 石崎素男 (1993) 北海道地質調査所・トムラウシ火山の地質学調査報告書 地質学調査報告書 地質学調査報告書 | Ishizaki, Y. (1993) Geology and Petrology of study of the Tomuraushi volcanic group, Central Hokkaido, Japan. Magma Melt and andesite study of and paper number, Ph.D. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [4] | 石崎素男 (1992) 北海道地質調査所・トムラウシ火山の地質学調査報告書 地質学調査報告書 地質学調査報告書 | Ishizaki, Y. (1992) Magma Melt, Hokkaido Univ. in Japanese with English abstract | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [5] | 石崎素男 (1993) 北海道地質調査所・トムラウシ火山群の地質学調査報告書 地質学調査報告書 地質学調査報告書 | Ishizaki, Y. (1993) Geology of the Tomuraushi volcanic group, central Hokkaido, J. Japan. Assoc. Min. Petrol. Econ. Geol., 90, 177-178, in Japanese with | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [6] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [7] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [8] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [9] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [10] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

図2 個別火山体カタログの例

9. 第四紀火山地形解析

向山 栄・猪股隆行・横田祐子(国際航業株式会社)、梅田浩司(核燃料サイクル開発機構)

将来の火山活動の場を適切に予測・評価するためには過去から現在までのマグマ供給系を明らかにする必要がある。多くの複成火山は長い年月にわたって間欠的に噴火を繰り返し、現在の火山体を形成したものであり、火山生成時から現在までの噴出地点や噴出物の量などの違いが火山地形に反映していると考えられる。したがって火山地形を指標として定量的な解析を行うことにより、火山活動の時間的・空間的変遷から長期的将来にわたって新たな火山活動が開始する場を予測し、火山活動による地質環境への影響を回避することができる可能性がある。本研究では火山地形の特徴を定量的に把握することを目的とし、基礎的な研究として数値地図を用いた火山地形解析を実施した。

1. 調査対象：日本の第四紀火山約 260 のうち海底火山や北方領土にあるものを除き、完新世あるいは1万年より新しい噴火の証拠がある85火山を対象とした。
2. データ：国土地理院の国土数値情報の標高データを用いた。パイロット作業として50mメッシュと250mメッシュの地形データでの解析を比較し、250mメッシュのデータで全体の作業をおこなった。
3. 解析手法：本調査では地形の標高データを用いて、高度－重心分布解析、高度－面積曲線解析、偏向型マトリクスフィルタを通した高度－面積曲線解析をおこなった。
 - ①高度－重心分布解析は、一つの火山体における標高帯(100mきざみ)ごとに区分した領域の重心分布を算出し、その分散の特徴を明らかにする。これによって火山帯が複数の火口からの噴出物によって成長するとき、火口の数や分布領域の大きさとは無関係に噴出物の量比が変化した場合の重心移動を表すことができる。
 - ②高度－面積曲線解析は、各標高帯ごとに区分した領域の面積を算出し、高度と面積との相関の特長を明らかにする。山体を形成する噴出物の噴出率が大きく変わるか山体に大きな欠損を生じた場合には曲線に不連続が生じる。さらに偏向マトリクスフィルタを用いると方向性を持った地形が強調されるので、高度と面積との関係が一見同じ火山でも列状に分布するものとそうでないものが区別できる。
4. 検討事項：地形解析によって得られた定量的指標で火山のタイプを分類するとともに、それらと火口の分布、噴出物の化学組成、岩石の産状、構造地質(基盤の隆起速度、広域応力場など)との関連性について検討した。また、火山と非火山地域の地形との比較も行った。
5. 調査結果：地形的な指標および山体の規模に基づいて対象火山を分類することができ、火口の出現する範囲や火山体の範囲の限界などについて把握することができた。
 - ①高度－重心分布解析により、火山体の底面の大きさに対して重心の移動する範囲が限られること、成層火山では重心の移動量が少なく、いくつかの火山では山体の伸長方向に重心が移動していること、またカルデラ型の火山では重心の移動量が大きいことがわかった。
 - ②高度－面積曲線解析により火山体の形状を示す曲線がいくつかの傾斜変換点で山頂部と山体部に分けられること、曲線の傾斜は噴出物の岩種や岩相に依存することが定量的に把握できた。また、複数の峰を持つ火山では火口が分布する範囲は山頂部と山体部を分ける変換点より高い位置に分布することが多く、その出現率は75%であるのに対し、成層火山ではその割合が低下し、15%程度であることがわかった。これを高橋(1994)の第四紀火山の火道の方向と周辺応力との関係に示された「火道の安定性」との比較でいえば、複数の火口に等量のマグマが供給されている火山(火道不安定型)はある標高以上の火口の出現率が高くなり、一つの中心的な火道と側火口を持つ火山(火道安定型)

は火口の出現率が小さくなる。

火山体においては、新しい噴出物は必ずしも標高の高い部分にのみあるわけではないから重心の分散が単純に火口や火道の分布の変遷を示すわけではない。しかし単独の火口で繰り返し噴火し山体を成長させた火山も、複数の峰が散在する火山も、峰が列状に連なる火山も、重心の変化に大きなばらつきがないことは興味深い。

本調査結果は、火山は最近1万年のオーダーにおいては活動中心の範囲や山体の成長過程において形状が大きく変化する傾向にはないことを示唆している。

参考文献

高橋正樹 (1994) : 複成火山の構造と地殻応力場 1. 火道安定型・不安定型、火山、39 巻、第4号、pp. 191-206

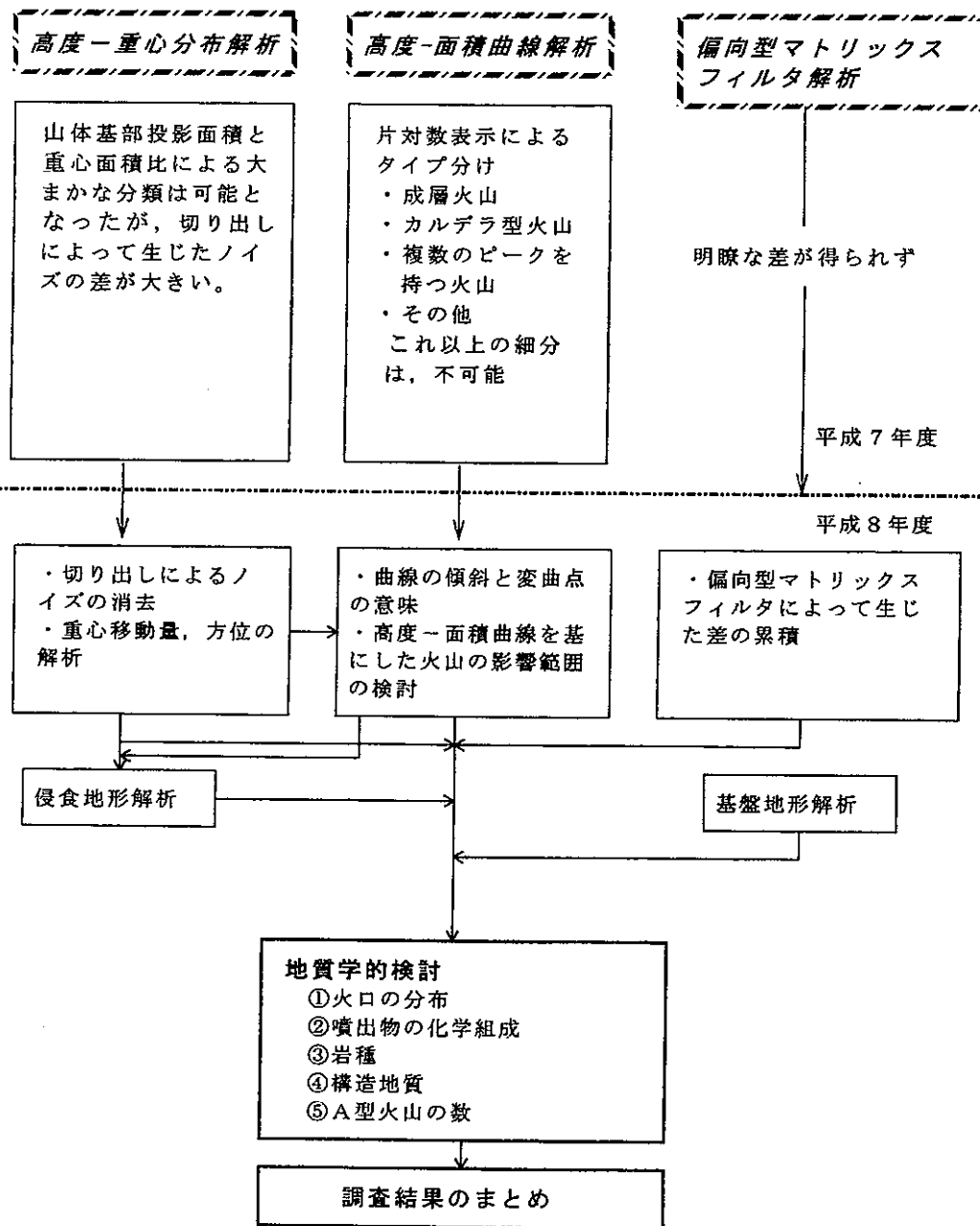


図1 作業の流れ図

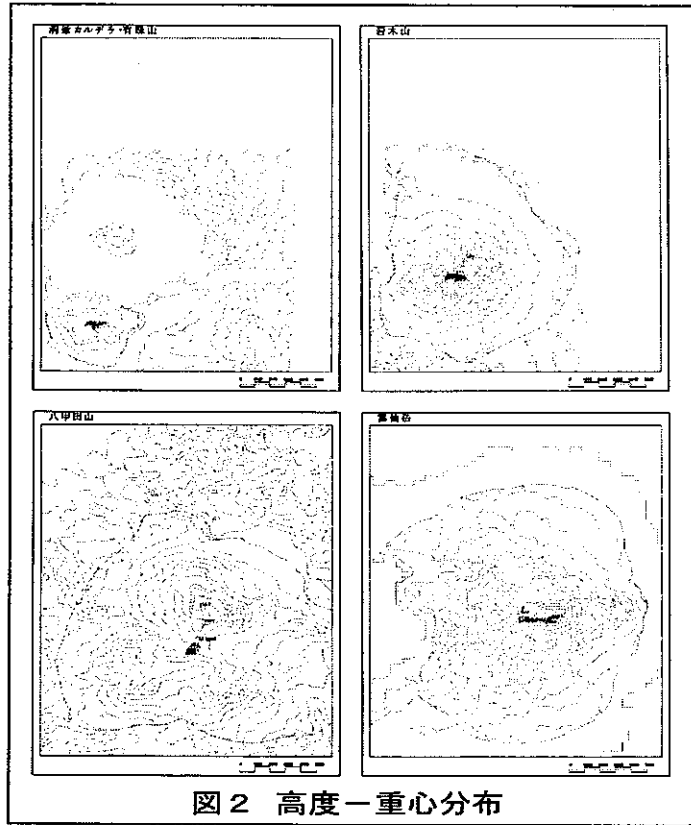


图2 高度—重心分布

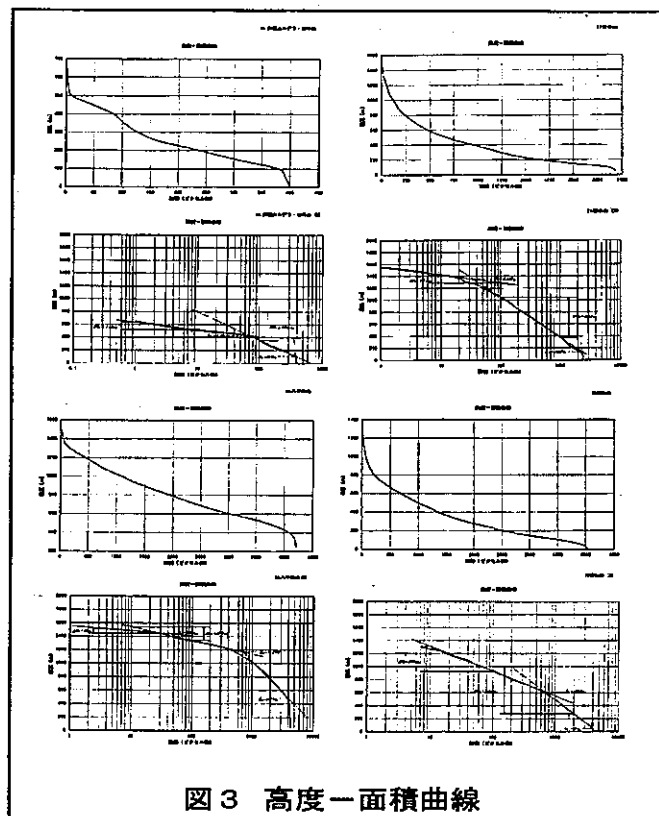


图3 高度—面積曲線

図 最新形成火山のモデル化

| 火山活動期 | 火山活動期 | 1 | 2 | 3 |
|-------|-------|----------------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 小 | 岩戸山、湯浅山、男山、釜ヶ崎、釜ヶ崎山、山内山、新島 | 有明山、志山、三峯山、鶴見山 | 扇形山 |
| | 大 | 新ヶ岳、妙木山、高尾山 | 駒形山、横巻山、丸尾山 | 扇形カルデラ、穹窿カルデラ、放射山、下野形カルデラ、扇形カルデラ、阿蘇カルデラ、(後期扇形カルデラ) |
| 2 | 小 | | | 扇形カルデラ |
| | 大 | 新島山、富士山 | 加茂山、大宮山、中野山、新島山、新島山、妙高山、新島山 | |
| 3 | 大 | 新島山、新島山、新島山 | 新島山、新島山 | |
| 4 | 小 | 新島山、新島山 | 新島山 | |
| | 大 | 新島山、新島山、新島山、新島山、新島山 | 新島山、新島山、新島山 | 新島山 |
| 5 | 小 | 新島山、新島山 | 新島山、新島山、新島山 | 新島山 |

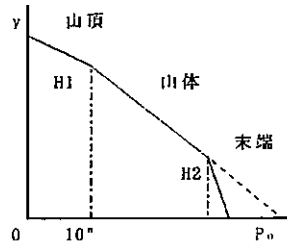


図 典型的な高度一面積曲線 (片対数)

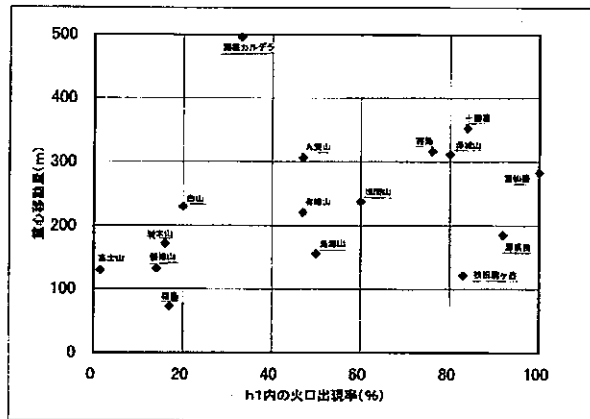


図 火山出現率と重心移動量



分散型 (火道安定型)

集中型 (火道不安定型)

図 火山の種類

調査結果

10. 全国地温勾配図の作成

伊達二郎（財団法人新エネルギー財団）

高橋 洋（三菱マテリアル資源開発株式会社）

矢野雄策・田中明子・高橋正明・大久保泰邦・笹田政克（独立行政法人産業技術総合研究所）

梅田浩司・中司昇（核燃料サイクル開発機構）

小松亮（核燃料サイクル開発機構，現地熱エンジニアリング株式会社）

火山活動による地質環境への間接的な影響として、マグマあるいは貫入岩体などの熱による岩盤や地下水の流動系への影響および水質の変化等が考えられる。これらの影響を考慮する際には、日本列島に分布する地熱系（熱水系）の諸特性を把握することが必要となる。本調査では、地熱調査、温泉調査等による既存の坑井データを収集し、地温勾配分布図を作成することにより、日本列島における地下深部の温度構造を明らかにすることを目的とした。これまで、国による各種の地熱開発促進調査で多くのデータが得られており、それらを用いた幾つかの予察的な調査・研究が行われているが、データに偏りがあり、全国的に満足のいく成果は得られていない。

データは地熱調査、温泉調査等による既存の坑井データのうち、地質調査所によって作成されている地熱情報データベース（SIGMA）に記載されているもの以外のものを収集することとした。これらの収集データを坑井別にデータシートに整理し、データファイルは3.5inchMagneto-Optical-Diskに格納した。収集した坑井データはSIGMAを含めて2,096坑である。これらのデータには市町村に依頼して収集したデータ、各県庁等での聞き取り調査により確認・収集したデータも含んでいる。データ収集に当たってはその質より量に重点をおき、位置と坑底温度の判明しているものは全て収集するという姿勢で行った。しかし収集後これらのデータを再検討し、深部の情報を正確に反映していないと考えられる深度300m未満の坑井データ（93坑）については除外し、最終的には2,003坑のデータを使用した（図-1）。

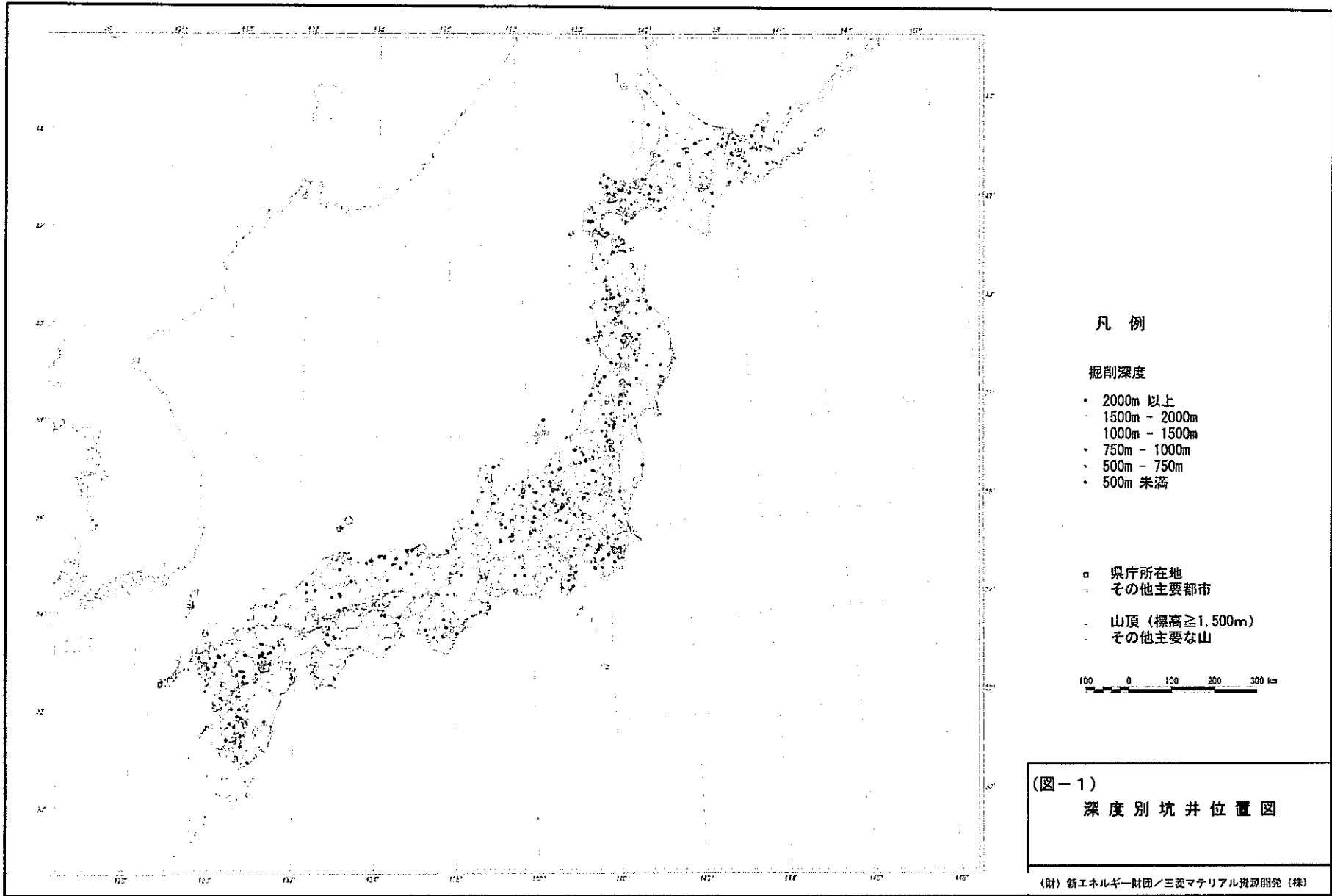
地温勾配値は、坑口（地表）の基準温度を設定し、それと坑底温度の差から求めた。基準温度は全国を4ブロックに分けて、浅部地下水温度を基に決定した（北海道；10℃、東北・北陸；13℃、東北・北陸を除く本州；16℃、四国・九州；19℃）。これらのデータを基に、地温勾配図をコンピューターによるマッピングで作成した。北海道地域の地温勾配図は、北海道立地下資源調査所（1995）により公開されている。この地温勾配図はエキスパートによる手作業で作成されたもので、自然感のある図面に仕上がっている。本調査では、エキスパートの手作業に近づけるようにコンピューター・マッピング方法を試行した。北海道地域以外の地域ではデータ密度も異なるが、北海道地域との整合性を持たせるために、他の地域でもこの方法を採用することとした。本来の地温勾配値は、熱伝導型坑井の温度データからとめるべきと考えるが、今回は基準温度と坑底温度の2点のみから求めている（坑底温度しか測定されていない場合が多い）ため、当然誤差の原因となる。また温度データが深度別に測定されていても、スタンディングタイムが不明または短い場合もあり、これも誤差の原因となっている。

マッピングの格子間隔は2,000mとし、格子補間方法については、ダブルリニア補間方法（図一2）、加重平均補間方法（図一3）、クリッキング法（図一4）の3手法を試行した。また、前2者については取り込み半径やスムージング（各格子点から一番近い実測点までを半径とした円内の全ての格子点の地温勾配値から距離の逆3乗を重みとして計算する）などについても試行を行った。本調査では、それぞれの方法により作成した地温勾配図を北海道立地下資源調査所(1995)の北海道地域の地温勾配図と比較し、最も類似した図面の作成方法を最適とすることにした。しかしスムージングを行った図面は、どの方法の図面もこの図と類似した。このためどの方法が最適であるかという判断は困難と考える。今回は全てのデータを有効に使用するという特徴を有するクリッキング法を含め、前述の3手法で作成した図面を紹介する。クリッキング法による図化作業にかなりの計算時間を要したが、これはバリオグラム作成と影響範囲（取込円）の検討を同時に実施しなかったためであり、この点については改善の余地を残している。得られた地温勾配分布図では、既存の同分布図にみられたデータ密度の低さが大幅に改善され、日本列島の既知地熱地帯、第四紀火山の分布及び低温度地帯等の分布特性があらかた表現されている。しかし第四紀火山の富士山や鳥海山の周辺のように地温勾配が高くない所もあるし、一方では本宮地域（紀伊半島）のように第四紀火山が認められていないにも拘わらず地温勾配が高い所もある。

本調査に使用した全データ量は2,003坑と、当初の目的には十分と判断されるが、地域別のデータ密度には大きな差異がある。また、北海道地域の水準に比べれば、まだ大きな不足感がある。特に四国や静岡などの地域では、県よりもさらに狭い範囲を所管する保健所での情報収集により、最近の温泉開発状況を含め、データ密度の全国的な平準化が期待できる。もし特定地域の高精度分布図の必要性が高まれば、今後それらの難点を改善する必要がある。図化の改善、データの質の検討等の課題も残る。

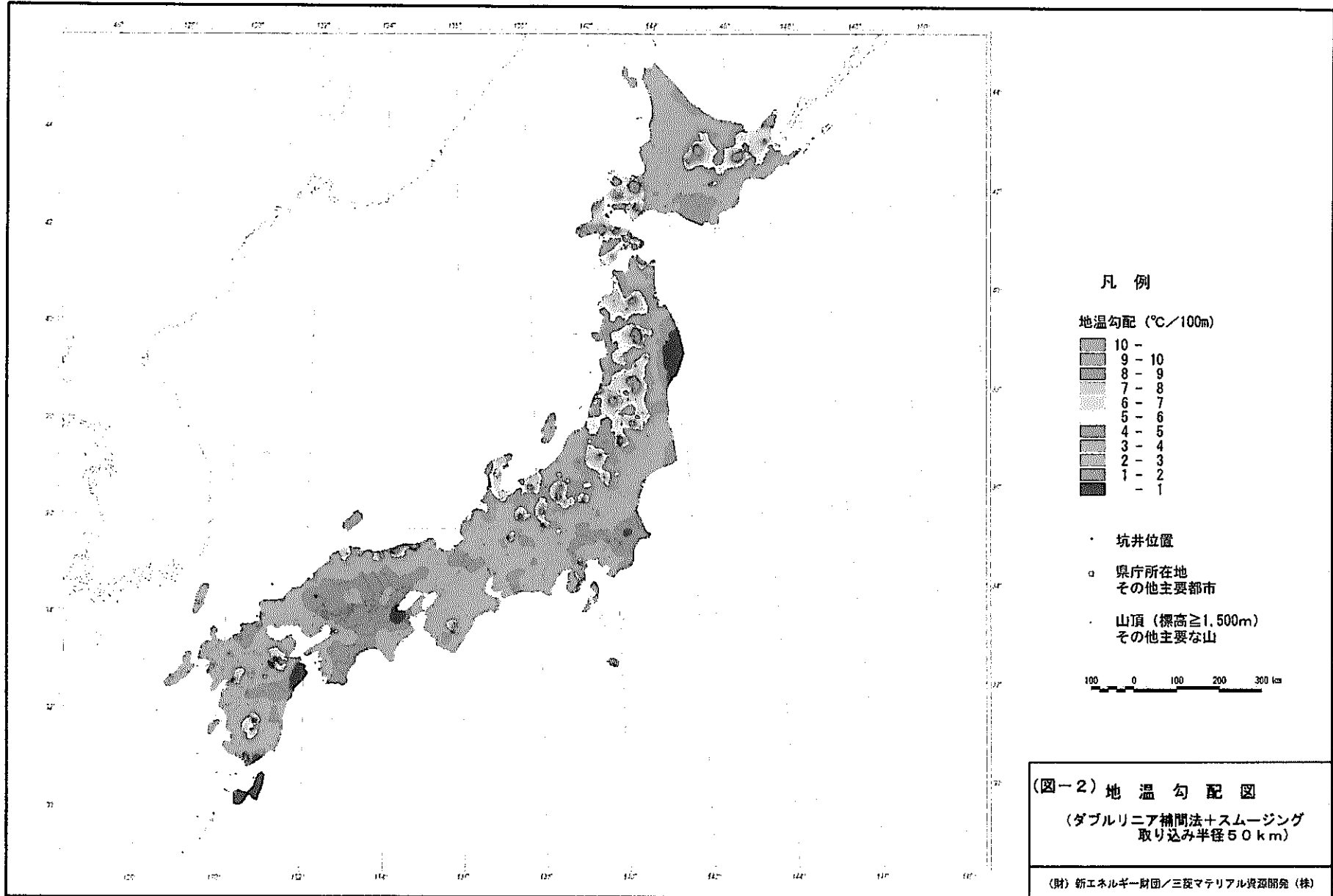
参考文献

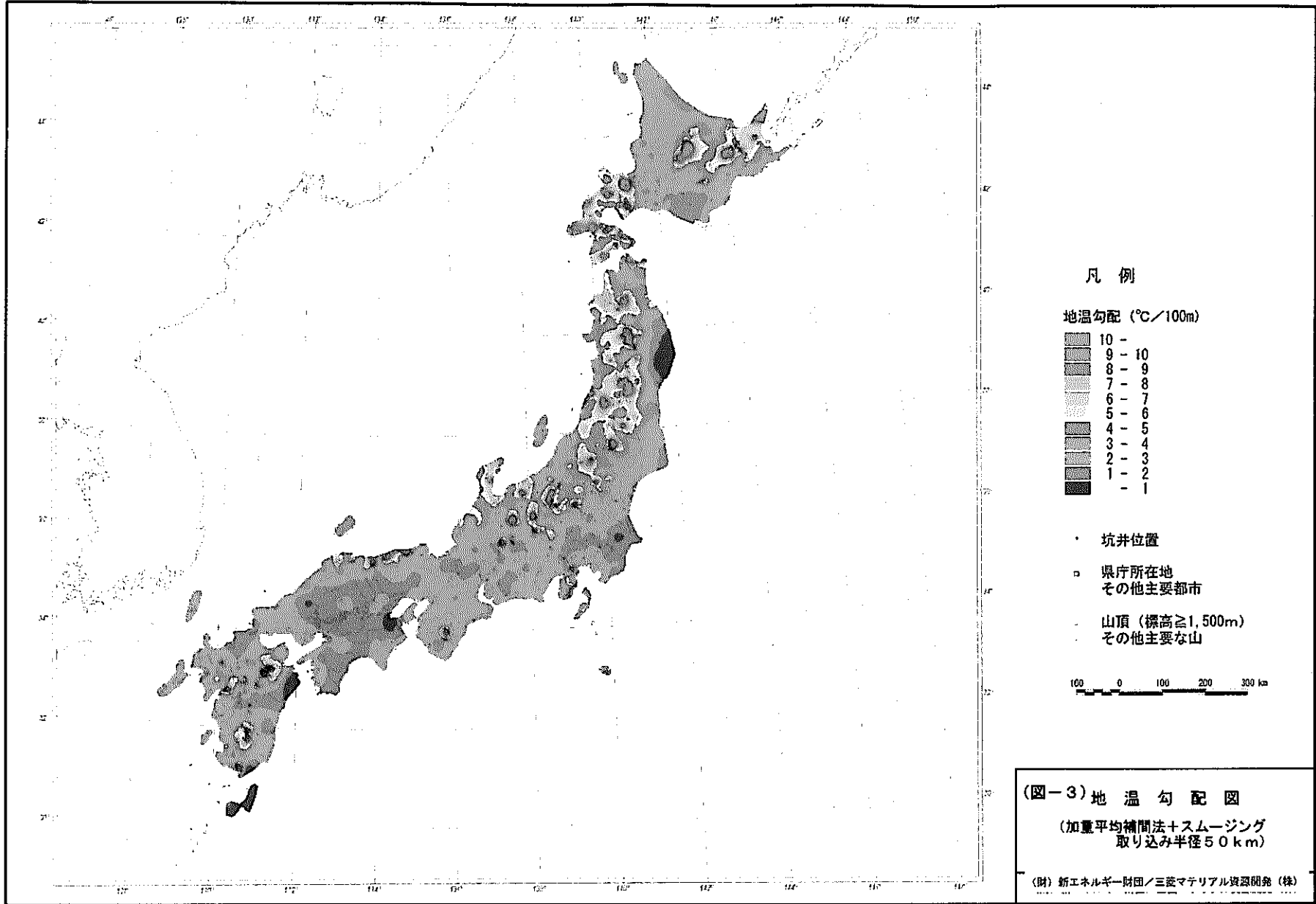
北海道立地下資源調査所（1995）：北海道の地温勾配図、北海道立地下資源調査所
出版物

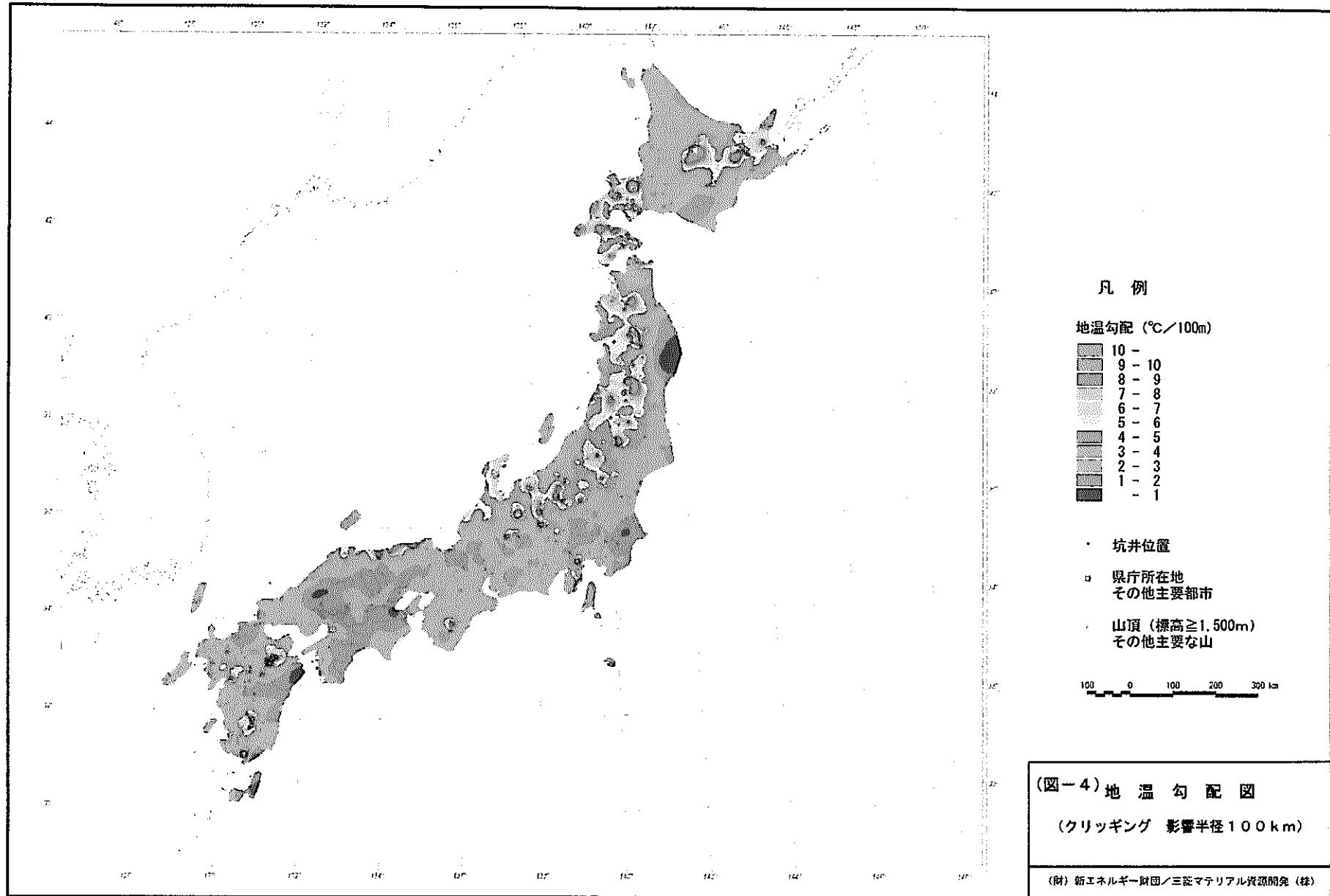


(図-1)
深度別坑井位置図

(財) 新エネルギー財団/三菱マテリアル資源開発 (株)







11. 貫入岩体が地質環境へ与える熱的・力学的影響の調査 — 成果と今後の課題 —

棚瀬充史・水落幸広（住鉱コンサルタント株式会社）

小松亮（核燃料サイクル開発機構、現地熱エンジニアリング株式会社）

梅田浩司（核燃料サイクル開発機構）

噴火現象においてマグマが地殻浅所に貫入すると、マグマの通路である火道周辺の母岩の温度は、熱伝導や熱水、揮発成分の移動により著しく上昇すると考えられる（千田、1986）。

また、静岩圧より大きい圧力のマグマが貫入した場合には、その直上には引張性の断裂が生じ（小出、1982）、周辺岩盤には放射状の断裂が発達することが予想される（中村、1989）。

母岩が被る熱的・力学的影響は、マグマの性質（温度）、噴火様式、規模、貫入深度などに依存する。このようなマグマの貫入（上昇）によって生じる熱的・力学的影響の程度と範囲を定量的に求めることは、火山活動が深部地質環境に与える現象を明らかにする上で重要であると考えられる。

熱的影響を検討する方法としては、変成相解析や変成分帯、鉱物放射年代による閉鎖温度を利用した熱年代学的方法、電子スピン共鳴(ESR)法や熱ルミネッセンス(TL)法などの電子トラップの消失温度を利用するもの、キュリー温度を利用した熱残留磁気測定などが考えられる。また、力学的影響を検討する方法としては、広域リニアメント解析、断裂系解析、微細レベルにおける岩石構造（マイクロクラック、空隙率）の観察などが考えられる。

ここでは、浸食により開析された火道を対象とした熱的・力学的影響についていくつかの異なる手法によって得られた成果を報告するとともに、火山現象が地質環境へ与える影響をより精度よく解析するために今後おこなうべき課題について提案する。

① 岐阜県北部、水鉛谷火道における熱残留磁気(TRM)および熱ルミネッセンス(TL)年代による熱的影響の推定

水鉛谷火道（短径 500m×長径 600m）周辺の母岩（奥丸沢花崗岩）の残留磁気方向は、境界から 20m 以内まで火道内の凝灰岩の方向とよく一致している。また、その方向はブリュンヌ正磁極期を示し(Fig. 1 および Fig. 2)、火道形成時に獲得した磁気方向と考えられる。すなわち、20m 以内の母岩の温度は、火道の形成時に約 500°C 以上に達したと推定される。

その範囲は火道周辺に Zonal に分布する。

また、火道から約 200m の範囲まで、火道の TL 年代値に近い年代値を示す(Fig. 3)。この範囲では電子トラップ解消温度（約 300°C）以上に達したと推定される。

② 水鉛谷火道におけるリニアメント解析・微細割れ目解析による力学的影響範囲の推定

水鉛谷地域(4×3km)のリニアメントは、後期中新世以降の広域的な応力場を反映した N30-40W が最も卓越する。火道近傍(750×850m)では NE 系のリニアメントも認められ、火道形成時の局所的な応力を反映している可能性がある。母岩の鏡下における観察では、微細クラックの発達する範囲は火道の周囲 100~300m に及んでいる。

③ 愛媛県西部、高浜貫入岩（火道）における鉱物放射年代測定とフィッシュトラック(FT)長解析および熱拡散モデルによる熱的影響の推定

瀬戸内火山岩の火道のひとつである高浜貫入岩（直径約 50m）の形成時の再加熱により、貫入岩の母岩（高縄トータル岩）を構成する鉱物（普通角閃石、黒雲母、ジルコン、アパタイト）の放射年代は、接触部から最大 51m の範囲で若返っている(Fig. 4)。

閉鎖温度の低い鉱物ほど広い範囲で放射年代が若返っている。

各鉱物の閉鎖温度、ジルコンの FT 長解析および一次元熱拡散モデルによる温度、加熱時間の推定から、貫入岩から 0.1m で 560~610°C 以上、1.0m で 330~370°C 程度、8.5m で 270~300°C 程度、51m で 60~90°C 以上まで温度が上昇した可能性がある。

④ 高浜貫入岩における断裂特性調査と空隙率測定による力学的影響の推定

西部瀬戸内地域の重力異常や地質構造、瀬戸内火山岩の分布などから、広域的にみると西部瀬戸内火山群は右ズレせん断の地質構造区内で、E-W 圧縮、N-S 引張の場で形成されたと考えられる。貫入岩周辺の断裂系解析によると、貫入岩の近傍(10m 以内)には、NE-SW 系および NW-SE 系の節理群を切断する N-S 系の圧裂割れ目が特徴的に発達する。このような断裂は貫入岩形成時の局所的な破壊現象のひとつと考えられる。また、母岩への青色顔料樹脂の浸透による空隙率の測定では、空隙のほとんどはクラックと一致し、その存在比率は貫入岩からの距離と比較的良好な相関が認められることが明らかとなった(Fig. 5)。

貫入岩から約 20m 離れると空隙率は極端に小さくなることから、貫入岩の力学的影響範囲を示す指標となる。

⑤ 愛媛県中部、高縄山火道における火山構造調査と鉱物放射年代による熱的影響の推定

本火道は瀬戸内火山岩の火道のひとつであり、マグマのダイアピル状浅所貫入時に小規模な陥没カルデラを形成したらしい(棚瀬ほか、1998)。母岩(領家花崗岩類高縄トータル岩)の鉱物放射年代、ジルコンの FT 長解析からは山頂安山岩近傍においても熱的影響はほとんど認められず、複雑な火道形成過程が関係していると思われる。

以上のように、貫入岩体による顕著な熱的・力学的影響が及ぶ範囲は、貫入岩体の接触部から岩体の直径の数分の 1 程度と考えられる。

これまでにおこなった貫入岩体からの熱的な影響の調査は、母岩が花崗岩であり、温度の拡散が熱伝導を主とする条件下と思われる地域での結果である。今後、堆積岩系を母岩とする比較的 wet な条件下での熱的影響を評価する手法を検討する必要がある。このことは、貫入岩体の熱による広域地下水流動系への影響評価にも繋がる重要な課題であると考えられる。

力学的影響については、貫入岩体として火道のみならずマグマの通路としての岩脈の分布とその応力配置にも目を向けた、より広義の火山現象について時空変化と地殻応力場との関係を検討していくことが大切であると思われる。

また、最近の伊豆単成火山の活動や岩手火山の活動での SAR インターフェロメトリックによる地殻変動域が火山中心から同心円に広がらずに基盤岩のブロック構造に支配されていることを考えると、火山体の形成場をより深部の基盤構造を含めた広域テクトニクス立場から検討することも重要であろう。

参考文献

- 小出仁(1982): 流体貫入(ダイアピル)構造の解析とテクトニクス、月刊地球、Vol. 4、No. 1、pp. 15-22
- 中村一明(1989): 火山とプレートテクトニクス、岩波書店、p. 323
- 千田侑(1986): 地球化学反応速度と移動現象、コロナ社、pp. 95-98
- 棚瀬充史・薦田靖志・小畑英樹・小松亮・梅田浩司(1998): 瀬戸内火山岩類、高縄山火道の地質と K-Ar 年代、日本地質学会第 105 年学術開会講演要旨、p. 337

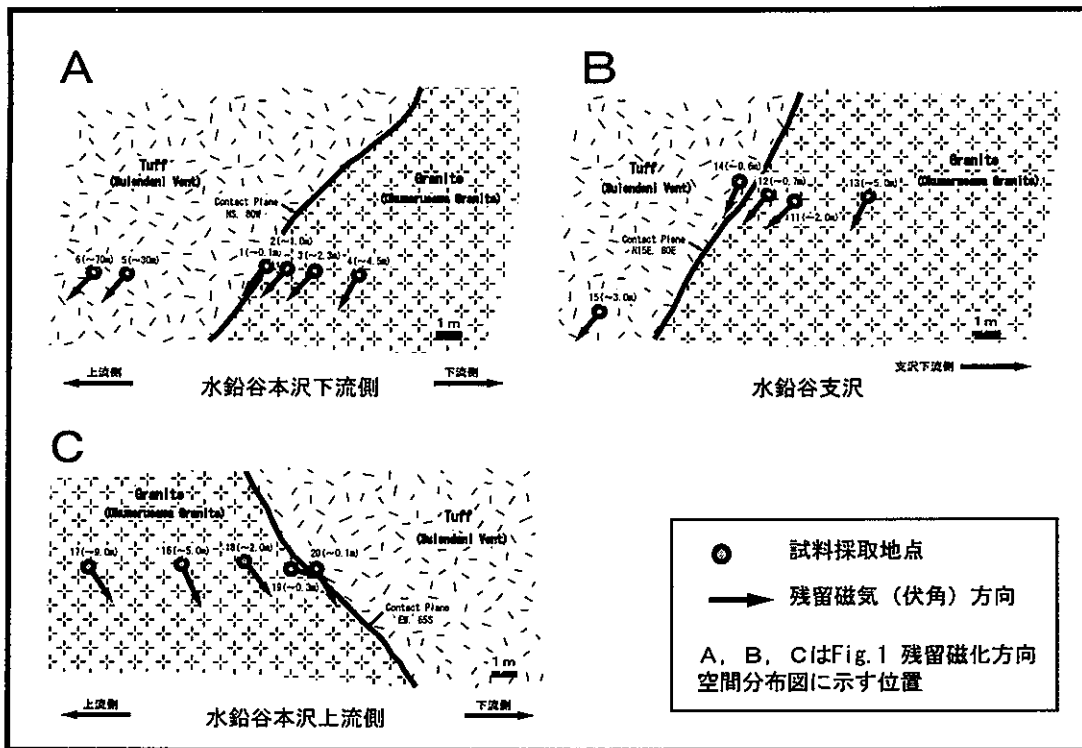
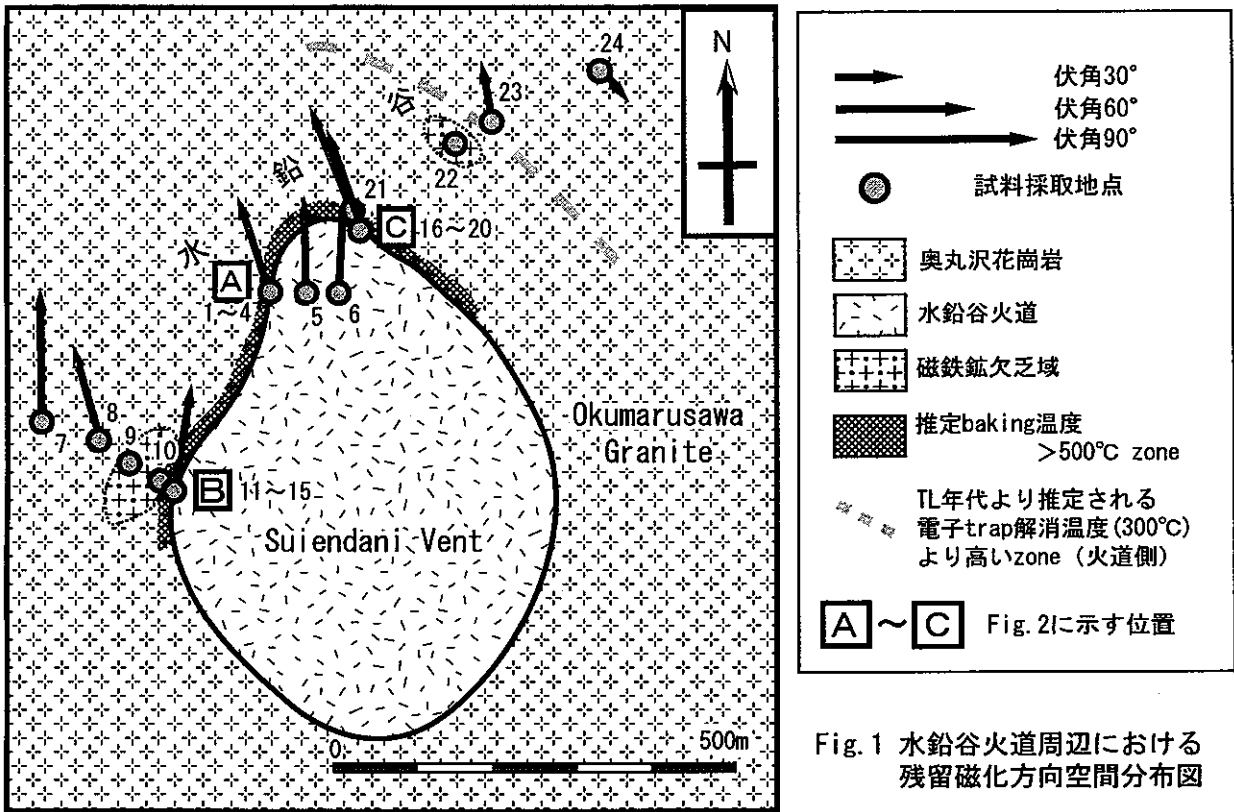


Fig. 2 水鉛谷火道接触部における残留磁気方向

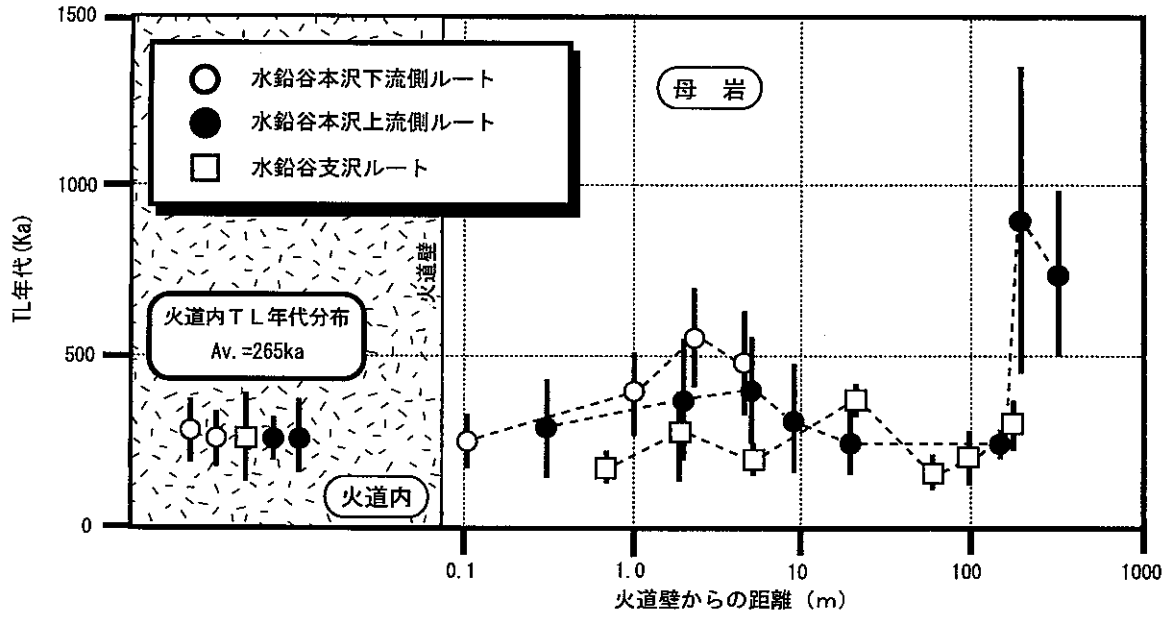


Fig. 3 水鉛谷火道からの距離とTL年代の関係

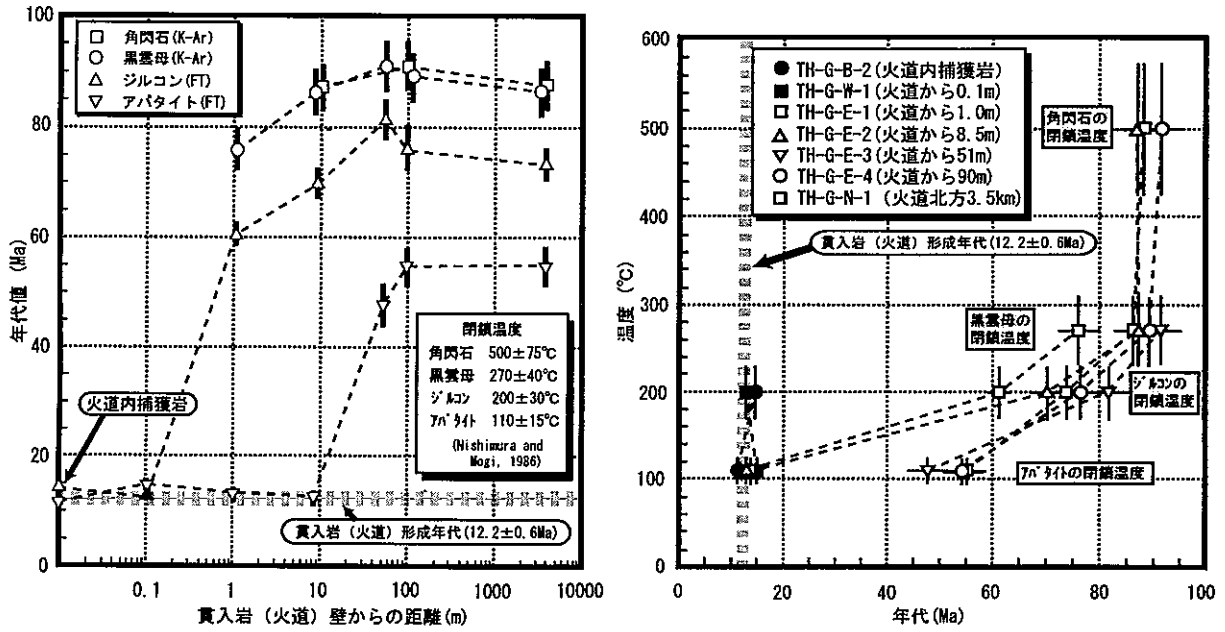


Fig. 4 高浜貫入岩（火道）壁からの距離と年代値の関係（左図）
および貫入岩周辺の花崗岩の冷却曲線（右図）

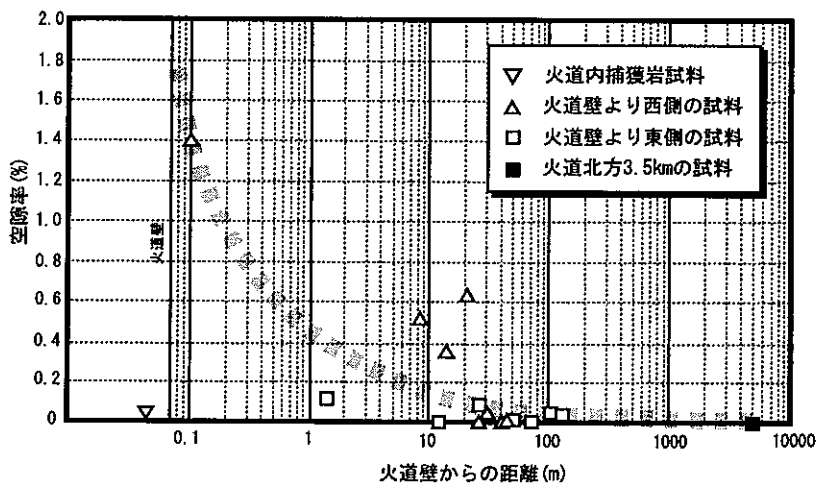


Fig. 5 火道壁からの距離
と空隙率の関係

12. 温泉地化学データベースの作成

小松 亮（核燃料サイクル開発機構，現地熱エンジニアリング）
黒墨秀行・福田大輔・浅沼幹弘（地熱エンジニアリング）
梅田浩司（核燃料サイクル開発機構）

火山活動が地質環境に及ぼす影響の1つとして、マグマ性揮発物質の溶解等による地下水の水質変化等の地球化学的な影響が挙げられる。この地球化学的な影響を検討するには、温泉水や地下水の諸特性を把握することが重要である。そこで、日本列島を対象とした温泉水及び地下水の地化学データを収集・整理し、データベースを作成することを目的とした本調査を実施した。

本調査では、学術雑誌や各県の衛生研究所発行の報告書、温泉分析書等による温泉水並びに地下水に関する湧出温度や化学分析値等を収集すると共に、採水位置を調査した。これらのデータを整理し、データベースを作成した。データベースの概要は以下の通りである。

- (1) データベースは、アプリケーションソフト「マイクロソフト社製 Excel 97」及び「クラリス社製 File Maker Pro」を用いて作成した。
- (2) 調査文献総数は658文献で、収集した地化学データ数は20,756データである。
- (3) 採水位置が明らかになった温泉水データ数は10,418データである。
- (4) 採水場所が同じ場合でも、採取日時が違う場合は、その全てを記載した。すなわち、経時変化を検討できるデータベースである。
- (5) 調査文献に記載された全ての化学分析値を収めた。

「File Maker Pro」による本データベースの出力例を第1図に示す。本データベースの記載項目は以下の通りである。

- ① 地域名：地化学データの「都道府県名」を記載した。
- ② 温泉地名・源泉名：地化学データが存在する温泉名等の「名称」ないし「住所」を記載した。
- ③ 採水位置：調査文献から判明した「緯度」、「経度」を記載した。今回は調査文献の位置情報を基に、採水位置を国土地理院発行の20万分の1地勢図等にプロットし、緯度・経度を経緯度線の比例配分により算出した。さらに、UTM座標系(ユニバーサル横メルカトル座標系)に変換した座標を算出した。
- ④ 掘削深度：調査文献に「井戸深度」が記載されている場合にその深度を記載した。
- ⑤ 引用文献・調査年月日：地化学データが記載されている「引用文献」と「調査年月日」を記載した。
- ⑥ 地化学データ：「気温」、「泉温」、「pH」、「RpH」、「比重」、「密度」、「蒸発残留物」、「各化学分析値」を記載した。その他、「水質」、「電気伝導度」、「水比抵抗」、「EH(酸化還元電位)」、「KMnO₄消費」が記載されている場合はそれも収めた。データベース上の化学分析値は、以下に示した57種類の化学分析値が収められているが、

第1図に示した出力例は、化学分析値の主なもののみを示したものである。

陽イオン(21種類) : H^+ , Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Al^{3+} ,
 Mn^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Total-Fe (総Fe量), Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Si^{4+}

陰イオン(21種類) : F^- , Cl^- , Br^- , I^- , OH^- , NO_2^- , NO_3^- , HS^- , $S_2O_3^{2-}$, HSO_4^- , SO_4^{2-} ,
 SO_3^{2-} , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , AsO_2^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , $HSiO_3^-$, SiO_3^{2-} , BO_2^-

非解離成分(6種類) : H_2SO_4 , H_3PO_4 , $HAsO_2$, SiO_2 , H_2SiO_3 , HBO_2

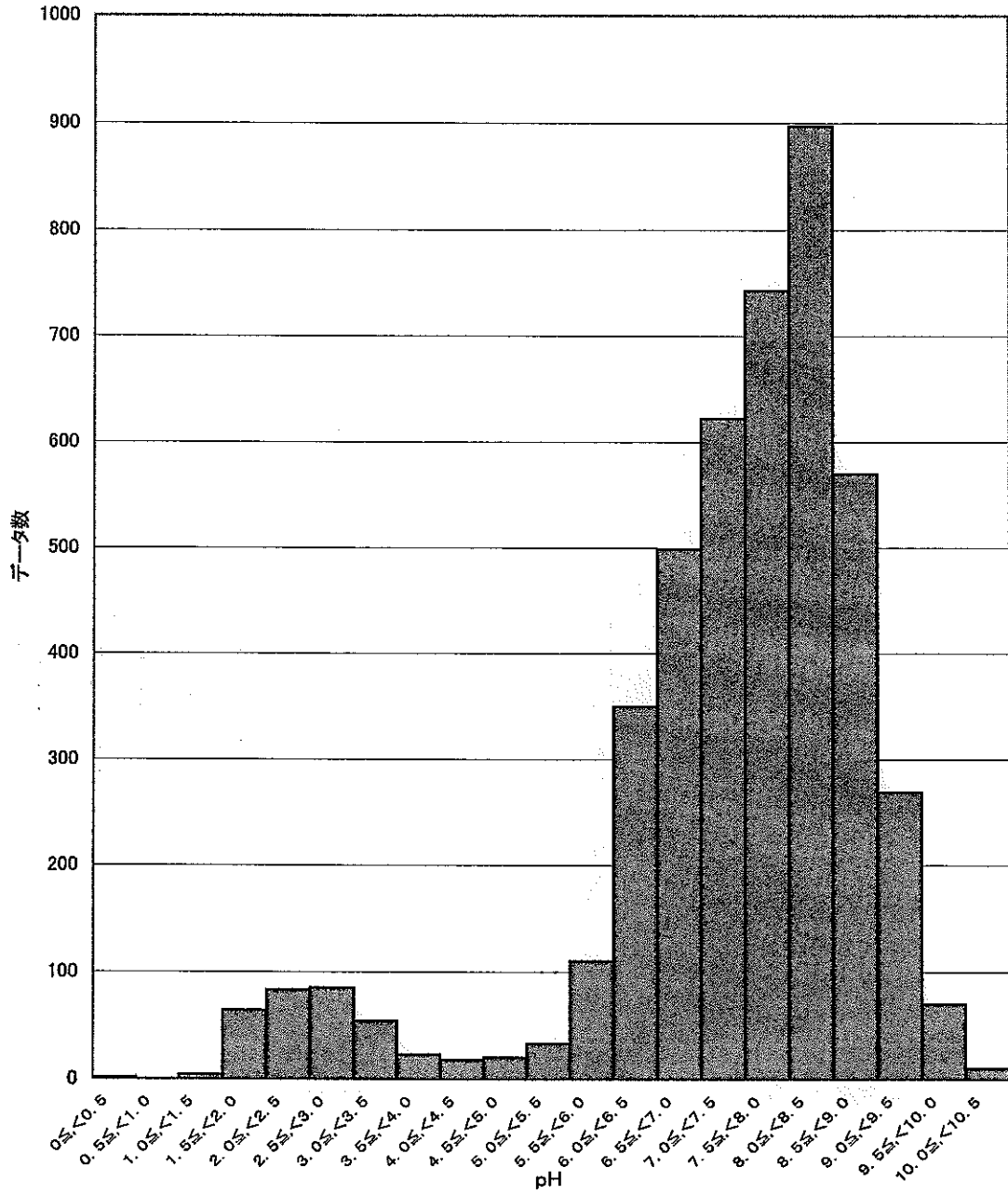
遊離成分(ガス成分)(2種類) : H_2S , CO_2

その他(7種類) : Total- CO_2 (総炭酸量), Total-As (総砒素量), Total-Hg (総水銀量), Total-P (総リン量), Total-B (総ホウ酸量), Rn濃度, Tr濃度

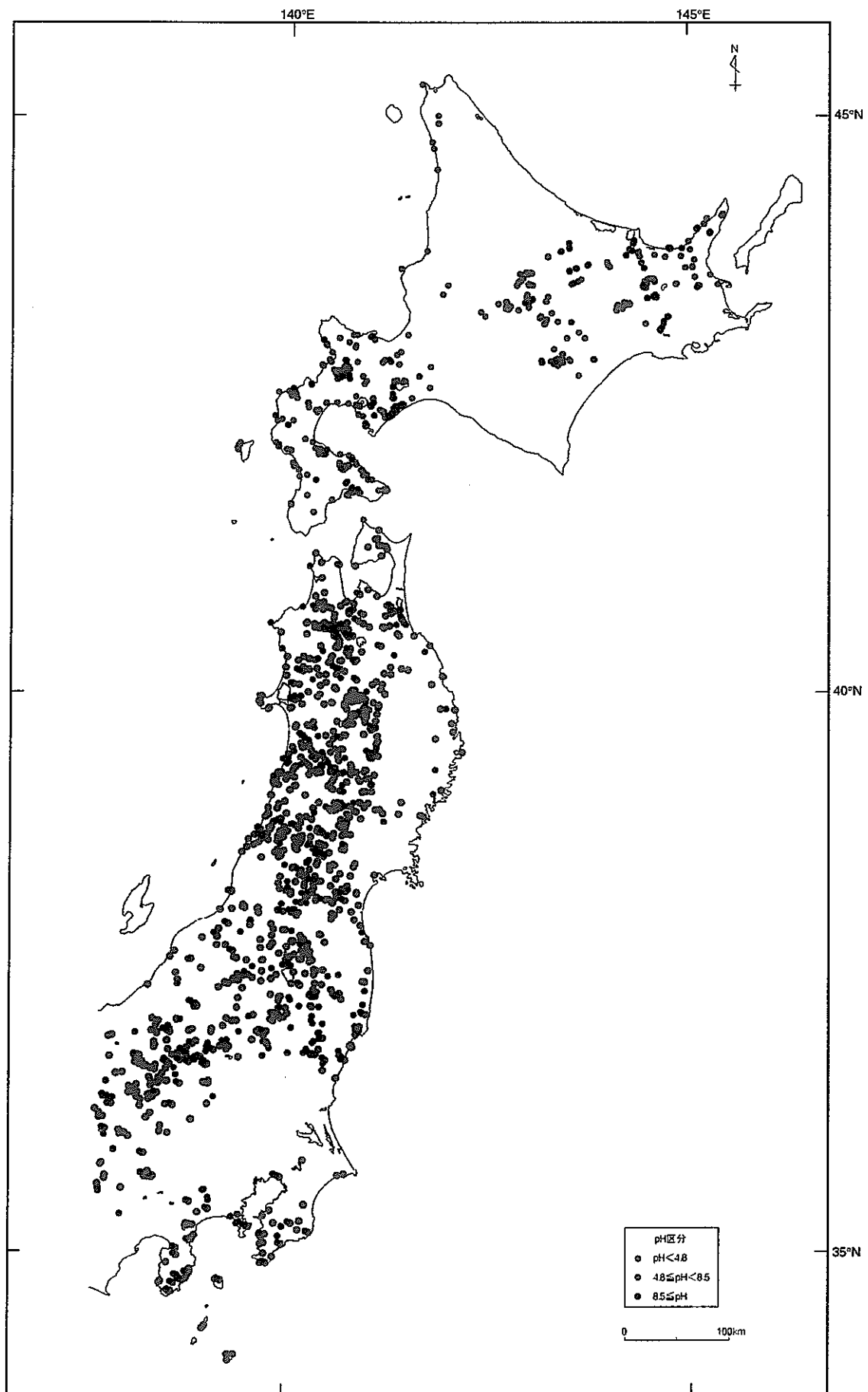
衛生研究所発行の報告書や温泉分析書等における採水位置は、採水位置図あるいは住所の記載はあるものの、緯度・経度の記載がされていない場合が多い。本データベースは、参照文献より採水位置の緯度・経度を調査して記載しており、各化学分析値の分布図が作成可能で、各化学分析値の分布傾向が解明可能なデータベースとなっている。したがって、火山活動が地質環境に及ぼす地球化学的な影響を十分に検討できるデータベースである。一例として、温泉水のpH頻度分布図を第2図に、日本列島における温泉水のpH分布図を第3図に示す。

| | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------------|------------------|
| 番号 NA-1 | 陽イオン | 陰イオン | 非解離成分 |
| 地域名 長崎県 | H^+ | F | H_2SiO_3 242.1 |
| 温泉地名 小浜温泉 | Li^+ | Cl 9439 | HBO2 |
| 源泉名 (北本町) | K^+ 283.0 | Br 30.76 | H_2SO_4 |
| 調査年月日 1958/9/18 (S33/) | Na^+ 5209 | I 0.420 | H_3PO_4 |
| pH 8.0 (RpH) | NH_4^+ 0.956 | HSO_4^- | $HAsO_2$ 0.67 |
| 泉温 97.0 °C (気温 25 °C) | Ca^{2+} 296.8 | SO_4^{2-} 1105 | |
| 掘削深度 m | Mg^{2+} 516.8 | $S_2O_3^{2-}$ | 遊離成分 |
| 湧出量 500 ℓ/min | Sr^{2+} | $H_2PO_4^-$ | CO_2 2.905 |
| 比重(密度) 1.0129 □密度の場合はチェックする | Total-Fe 0.213 | HPO_4^{2-} | H_2S |
| 単位 ○ (mg/ℓ) ● (mg/kg) | Fe^{2+} 0.213 | HCO_3^- 120.9 | |
| 蒸発残留物 18310 | Fe^{3+} | CO_3^{2-} 0.714 | |
| *g / の場合は mg / に換算すること (1g = 1000mg) | Mn^{2+} 0.691 | $HSiO_3^-$ 4.780 | |
| 緯度° 緯度′ 緯度″ | Cu^{2+} | OH^- 0.017 | |
| NS 32 42 23 | Zn^{2+} | | |
| 経度° 経度′ 経度″ | Pb^{2+} | | |
| EW 130 12 40 | Cd^{2+} | | |
| | Al^{3+} 0.1 | | |
| | Ba^{2+} | | |
| | Total-Hg | | |
| | | 備考・引用文献 | |
| | | 長崎県下の温・鉱泉分析成績 (1961年) | |

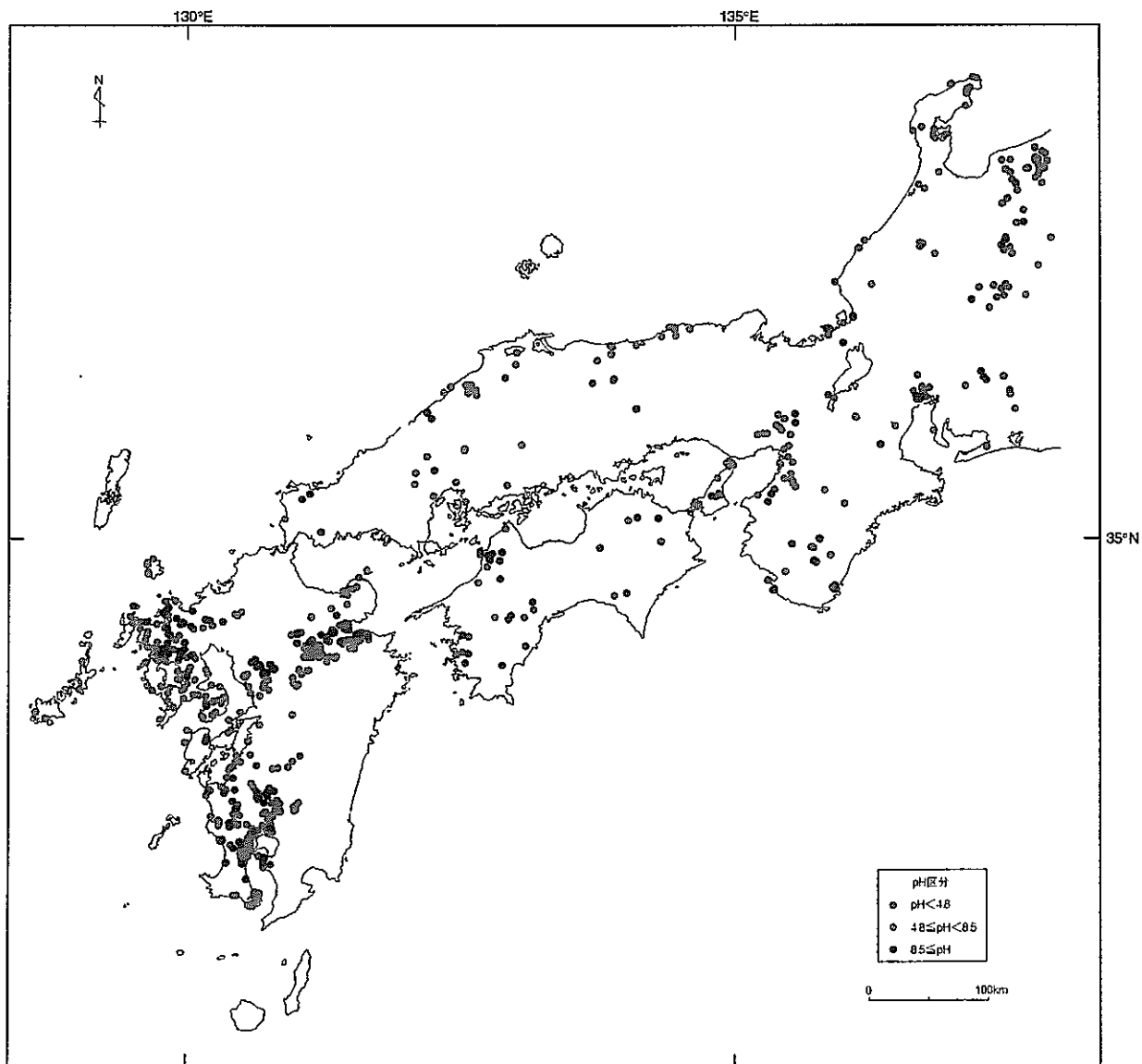
第1図 温泉地化学データベースの出力例



第2図 温泉水pH頻度分布図



第3図(1) 温泉水のpH分布



第3図(2) 温泉水のpH分布

13. 河岸段丘から推定した河床高度変化の歴史

高木俊男（核燃料サイクル開発機構，現サンコーコンサルタント株式会社）
柳田誠・小澤昭男（株式会社アイ・エヌ・エー），藤原治（核燃料サイクル開発機構）

1. 河岸段丘に基づく河床低下の予測

日本の河谷沿いには河岸段丘が発達することが多く，第四紀における河川の下刻過程を示している。したがって，河岸段丘やその堆積物の年代と比高から河川の下刻過程は復元可能である。ここでは過去の河床変動を見積もるために河岸段丘の調査を行っている。

これまでに調査を行っている河川は北海道地方の天塩川，興部川，藻興部川，静内川，新冠川，元浦川，日高幌別川，門別川，波恵川，慶能舞川，賀張川，芦別川，東北地方の夏油川，荒川（山形県），常浪川，関東地方の荒川（埼玉県），鐮川，相模川，小櫃川，高麗川，中部地方の信濃川，三峰川，豊川，北陸地方の黒部川，近畿地方の宮川，櫛田川，四国地方の那珂川，物部川，肱川である。河川数は全部で30である。

河川が海面変化と気候変化に反応して下刻と堆積を行うモデルを Dury (1959) や貝塚 (1977) は示している。それは山地内の中流部において，氷期には岩屑の生産量が増加し，洪水の強度・頻度が低下して堆積が行われ，fill-top 段丘面が形成され，また，間氷期には植生が回復し岩屑の生産量が減少し，洪水の強度・頻度が増して下刻が進む。下流部においては海面変化の影響を受け，氷期には低海水準に対応して下刻がすすみ，間氷期には高海水準に対応して堆積が起こるというものである。このような河床高度の上下変動は，海岸部における氷河性海面変化とほぼ逆の位相をもつ曲線と考えられていることから，氷期・間氷期の気候変動によって支配されていると思われる。そして，氷河性海面変化がサイクリックに繰り返していることから考えて，河床変化曲線にも同様の一定周期の繰り返しが存在すると期待できる。

その一方で，段丘地形は過去の海岸線あるいは河原が相対的に隆起して離水（段丘化）したものであるから，地殻変動による隆起の影響を受けて形成されている。吉川ほか (1964) は室戸半島の海岸段丘について，氷河性海面変化曲線と隆起速度を合成した相対的な海面変化によって，その形成過程を説明している。この考えをさらに発展させて，河岸段丘についても隆起速度を合成した相対的な河床変化曲線が復元できれば，将来の河床低下量のある程度の精度で予測可能である。

2. 河岸段丘が発達する地点の隆起速度

沿岸部においては，下末吉面などの海岸段丘に基づく隆起速度の調査はこれまでも多く行われてきた。しかし，内陸部ではこの方法は適用できない。河岸段丘が発達する地点の隆起速度として，最終氷期の fill-top 河岸段丘の下に伏在する埋没谷底の形成期を最終間氷期 (MIS5) とみなし，現河床との比高 (BV 値) から河岸段丘が発達する地点の隆起速度が求められている (吉永・宮寺, 1986, 吉山, 1990 など)。次いで，吉山・柳田 (1995) は現河床がまだ平衡状態に達しておらず下刻しきっていない地点が多いことを問題と考え，最終氷期 (MIS2) に形成された fill-top 段丘面とひとつ前の氷期 (MIS6) に

形成された fill-top 段丘面との間で、段丘面の比高 (TT 値) を計測し、それを氷期・間氷期の 1 サイクル間の隆起量とみなした。

3. 河川の下刻・埋積のプロセスと長期的な下刻速度

吉永(1990)などは日本各地の河川に fill-top 段丘が発達していることを報告している。ここでは fill-top 段丘が発達する河川をとりあげる。これらの河川では下刻および埋積が規則的に行われていたと考えられ、そのサイクルは氷期・間氷期に対応していると考えられる。それぞれの fill-top 段丘面の形成後には 1-2 万年程度の短期間に 2.2-7.0m/1,000 年という下刻速度での急速な下刻が行われた(表 1)。この下刻は間氷期の極相期が終わると埋積へと転ずるようである。埋積はそれぞれの氷期に 7~10 万年間をかけて、0.2~0.7m/1000 年という堆積速度でゆっくり行われた(表 1)。

4. 河川の下刻プロセスの予測

各河川において fill-top 段丘面形成後に行われた下刻量は、その直前の埋積作用による河床上昇量と地殻変動による隆起量との合計にほぼ等しい。すなわち、各河川は 1 サイクルの期間をつうじての隆起量とほぼ等しい分だけ下刻している。例えば、0.3mm/年の隆起速度の河川における長期的な平均下刻速度は 0.3mm/年であり、下刻期ごとに本流の下刻量が隆起量に追いつていることを示す。図 4 にはその河床変動モデルを示す。相模川、鐺川などではサイクリックな河床高度の振幅と隆起速度に規制された河床変動モデルが理想的に成り立っていると考えられる。

今後もサイクリックな気候変動と一定速度の隆起運動が継続するならば図 1 に示すような河床変化が予想できる。したがって、今後もサイクリックな気候変動と一定速度の隆起運動が継続するならば図 4 に示すように、0.5mm の隆起速度なら図 4 A の曲線、0.3mm の隆起速度なら図 4 B のような河床変化が予想できる。また、仮に隆起がない場合図 4 c を考えると、そこではもともと高い山地は存在せず、fill-top 段丘面をつくるような土砂供給量は期待できないのが普通である。そこでは氷期・間氷期の河床高度の振幅は小さく、いずれの時期にも河床はほぼ同じ高度にあり、また、隆起がないので長時間を経ても河床はほぼ同じ高度にあることが予想される。

なお、小規模な河川では氷期に埋積が起こらず、河床が階段状に低下してゆくことがある。

参考文献

Dury, G. H., (1959) : The face of the earth. Penguin Books, Harmondsworth. 251p

貝塚爽平 (1977) : 日本の地形—地質と由来, 岩波新書, p. 234

吉川虎雄・貝塚爽平・太田陽子 (1964) : 土佐湾北東岸の海岸段丘と地殻変動. 地理学評論, 37, pp. 627-648

吉永秀一郎・宮寺正美 (1986) : 荒川中流における下位段丘の形成過程. 第四紀研究, 25, pp. 187-201

吉山昭 (1990) : 北海道日高山脈周辺地域の第四紀後期の地殻変動—河成地形を用いた隆起量算定の試み—. 第四紀研究, 28, pp. 369-387

吉山昭・柳田誠 (1995) : 河成地形の比高分布から見た地殻変動. 地学雑誌, 104, pp. 809-826

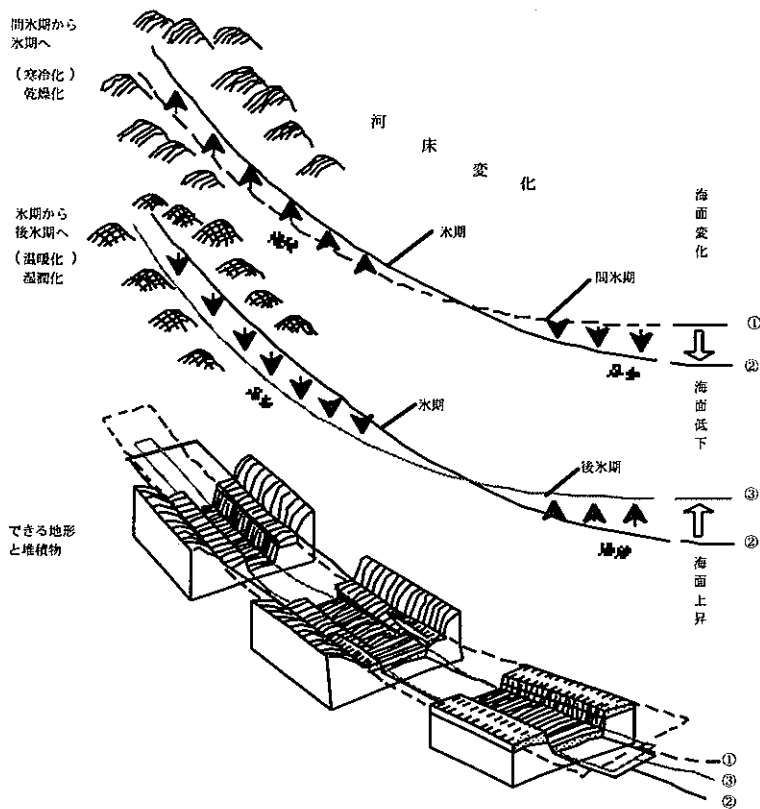


図1 間氷期→氷期→後氷期へと気候・海面が変化するに伴って変化した河川変化モデル。

このモデルは北海道の川ばかりではなく、日本のかなりの川にあてはめられるようである。山間部での川の変化は主に海面変化によってもたらされた。こうして生じる山間部の河岸段丘は気候段丘といわれる（貝塚，1983の図）。

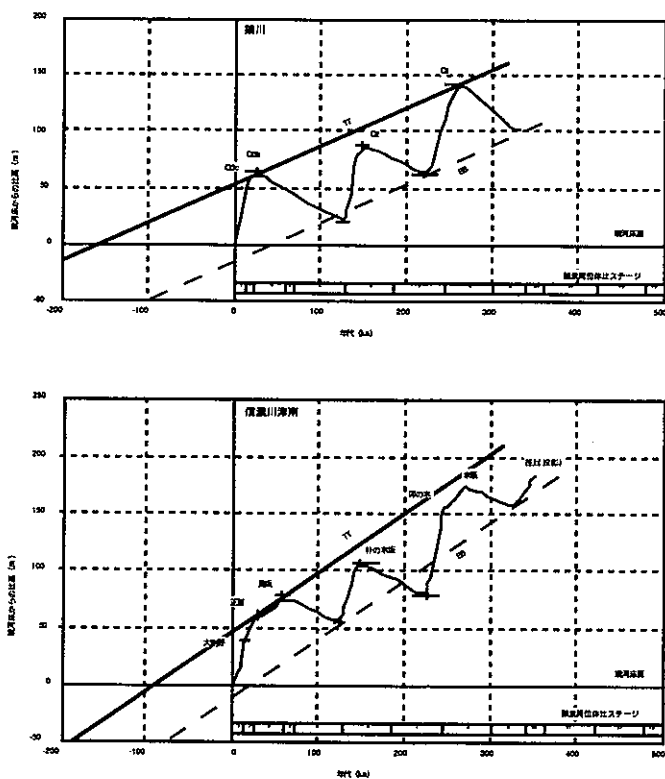


図2 薩摩川および信濃川の河床高度変化曲線

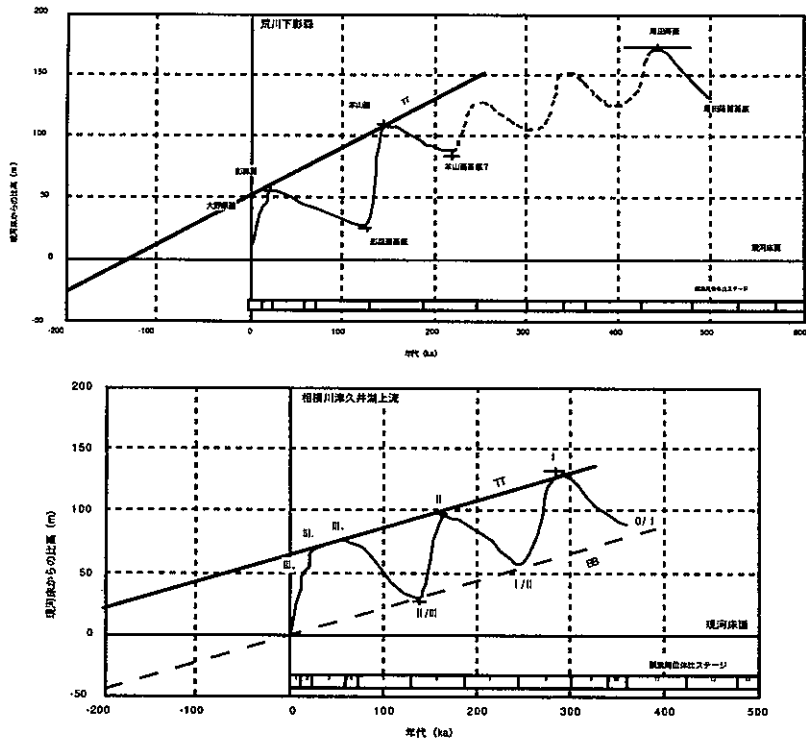


図3 荒川および相模川の河床高度変化曲線

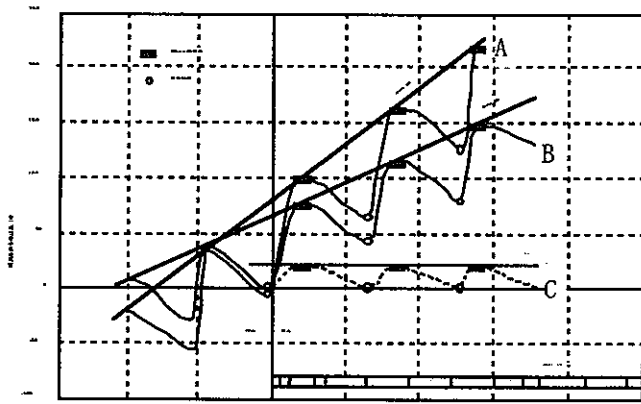


図4 サイクリックな河床変動と地殻変動との合成モデル

表1 調査地域の隆起速度と河床高度変化速度

| | TT(m/10 ⁴ y) 隆起速度 | BB(m/10 ⁴ y) 長期的平均下流速度 | Ds(m) 1サイクルの下流速度 (BB×120ka) | IG(m/10 ⁴ y) 最大下流速度 | G(m/10 ⁴ y) 隆起速度 | DI(m) 間氷期の下流量 | A(m) 氷期の隆起量 |
|---------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------|
| 相模川 津久井淵付近 | 0.25 | 0.25 | 30 | 3.5-5.0 | 0.4-0.7 | 70-80 | 35-50 |
| 荒川 南田付近 | 0.25-0.35 | 0.25-0.35 | 30-42 | 3.0-5.0 | 0.2-0.4 | 60-75 | 20-40 |
| 荒川 秩父盆地 | 0.4 | 0.4 | 48 | 4.0-7.0 | 0.2-0.4 | 60-70 | 20-30 |
| 荒川 十日町盆地 | 0.6 | 0.6 | 72 | 2.2-5.3 | 0.3-0.4 | 45-80 | 20-30 |

14. 第四紀テフラ試料の高精度年代測定

—その試料評価と測定精度・トラック長解析を中心として—

檀原徹・岩野英樹（株式会社京都フィッション・トラック）

藤原治（核燃料サイクル開発機構）

はじめに

近年における日本列島とその周辺域のテフロクロロジーの著しい発展は、広域にわたる地層や地形面の正確な対比を可能にした。その結果、第四系火山および地層の編年や地形解析は長足の進歩をとげ、高い精度での地盤隆起・沈降量や侵食量の定量化が可能になってきた。この背景には、テフラや堆積物を利用した高精度対比と高精度年代決定が重要な寄与をなしている。現在サイクル機構が進める地質環境の長期安定性に関する研究においても、「火山カタログ」・「海成段丘アトラス」・「活断層マップ」などの作成の中で、第四紀試料の高精度年代測定に対する期待は大きい。ここでは特にテフラ試料の放射年代測定に有効なジルコンのFT（フィッション・トラック）法にしぼり、①試料評価、②ゼータ較正、③高精度測定の条件、④FT長解析について述べる。また、発表に用いたポスターとして、FT法の簡単な説明、高精度FT年代測定の全行程、高精度測定の研究例を以下に載せた。

試料評価

一般に年代試料は、純粋かつ非変質であることを前提として取り扱われるが、現実にはその前提要素を満たさない場合が多い。試料の持つ不均質性と被熱影響はFT法を含むほぼすべての年代試料において問題となる。測定試料を均質性と被加熱性の両面から分類するとポスター2左下図のようになる。年代測定をする場合、対象試料がどこに位置するかを的確に把握することが大切で、特に高精度年代測定試料を選別するならば、表の左上にある均質かつ非加熱（熱によるアニーリングがない）試料を対象とするのが望ましい。しかし、テフラのように外来結晶の混入の恐れがある試料では、結晶1粒子ごとの年代データから試料の均質性を検討し、本質結晶を識別して年代データを集計処理する必要がある。また、地熱ポーリング試料のように生成時以降被熱影響の可能性の高い試料では、年代値の若返りを評価する必要がある。FT法の場合には、結晶外部面の自発FT密度とFT長分布を、本質結晶と外来結晶、あるいは加熱・非加熱の識別に重要な基準として用いている（檀原, 1995）。ただし、みかけ上均質と判断される場合でも、結果的に大部分が外来結晶の場合もある。したがって異種年代結晶を排除した残りが本質結晶と単純には言えない。FT法で適用される統計的手法（Galbraith, 1981）で、外来結晶の存在を判定することはできるが、本質結晶の存在を保証するにはなお検討が必要である。

ゼータ較正

ゼータ較正とは、年代が既知あるいは合理的に推察された標準物質に対して求めた較正定数を用い、測定値をトータルに較正するもの（Fleischer and Hart, 1972; Hurford and Green, 1983）であり、標準試料を用いて未知試料を相対的に規格化する較正法である。

この場合、年代は較正因子ゼータ（ ζ ）を用いて①式で計算され、誤差は②式で示される。

$$T = \frac{1}{\lambda_D} \ln \left(1 + \lambda_D \zeta \frac{\rho_s}{\rho_i} \rho_d \right) \quad \text{①}$$

$$error = \sqrt{\frac{1}{N_s} + \frac{1}{N_i} + \frac{1}{N_d} + \left(\frac{\xi_{std.dev.}}{\xi}\right)^2} \quad (2)$$

ここで、 N_s , ρ_s は自発 FT 総数と密度、 N_i , ρ_i は誘導 FT 総数と密度、 N_d , ρ_d は熱中性子線量測定用標準ガラスに密着した検出材（白雲母）上で計数される誘導 FT 数と密度、

$\xi_{std.dev.}$ は測定ゼータ値の標準偏差である。なお、年代式①において標準試料の既知年代を T_{std} とすると、

$$\xi = \frac{\exp(\lambda_D \cdot T_{std}) - 1}{\lambda_D \left(\frac{\rho_s}{\rho_d}\right)_{std} \cdot \rho_d} \quad (3)$$

となる。すなわち年代標準試料を繰り返し測定することにより、 ξ 値は実験的に求められる。こうして決めた ξ 値を、未知年代試料の年代算出の際には③式に代入することにより、年代値を算出することができる。

高精度年代測定の場合

第四紀試料の特徴として、自発 FT 密度が非常に低いことがあげられる。そのため、第四紀テフラの高精度年代測定には以下の3点、(1)ゼータ較正、(2)低自発 FT 密度の正確な測定、(3)本質結晶の識別、が確実に実行された上で、さらに自発 FT を多数計数することが必要である。すなわち、測定粒子数を増すほど測定値の高精度化が図られる。また、試料ごとに要求する精度にあわせ測定粒子数（総測定面積）を調節することによって、過不足のない高精度年代測定値が得られる。

FT 長解析

FT 長は加熱により短縮し、一度短縮すると元に戻らない性質をもつ。また、FT 長の短縮化率は加熱温度と時間の関数であり、ひとつの方程式で示されるところまで定量化され (Yamada et al., 1995)、試料の熱史解析に広く適用されている。

第四紀のような若い試料の年代測定の場合、不均質なテフラ中の本質結晶の識別に FT 長が効果を発揮する。すなわち、異なる年代をもつジルコン結晶（外来結晶）が識別される試料では、年代と FT 長に密接な関係が認められる。具体的には、本質結晶中の FT 長は正常で短縮化していないのに対し、外来結晶では明瞭な FT 長の短縮化が見られる。外来結晶の中でも古い年代粒子ほど、FT 長の短縮化が大きく総被熱量が大きいことを示すと考えられる。加熱のタイミングとしては、テフラへの混入時がその一つである。したがって、FT 長に短縮化のない結晶群は本質結晶の可能性が高く、テフラの噴出年代を示すと考えられる。

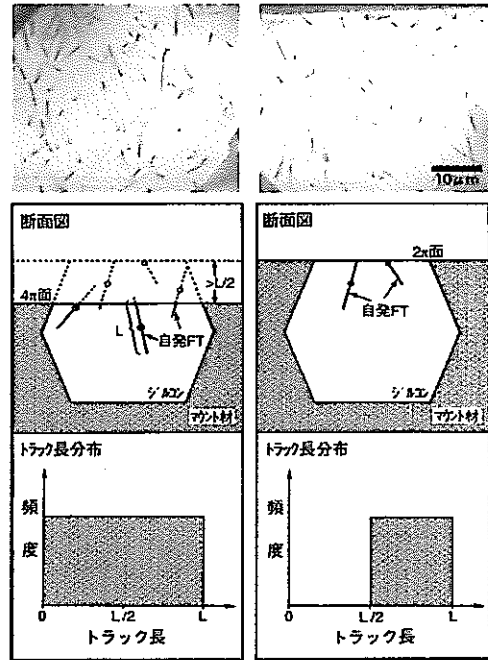
参考文献

- 壇原徹 (1995) : 第四紀テフラの高精度フィッション・トラック (FT) 年代測定—ジルコンとガラスを用いた測定法の確立に向けて—、第四紀研究、34、3、221-237
- Fleischer, R.L. and Hart, H.R. (1972) : Fission track dating : techniques and problems. W.W.Bishop, J.A. Miller and S.A. Cole (ed.) *Calibration of hominoid evolution* : 135-170, Scottish Academic Press
- Galbraith, R.F. (1981) : On statistical models for fission track counts. *Jour. Math. Geol.*, 13 : 471-478
- Hurfurd, A.J. and Green, P.F. (1983) : The zeta age calibration of fission-track dating. *Isot. Geosci.*, 1 : 285-317
- Yamada, R., Tagami, T., Nishimura, S., Ito, H. (1995) : Annealing kinetics of fission track in zircon: an experimental study. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)* 122, 249-258

ポスター1: FT法とは

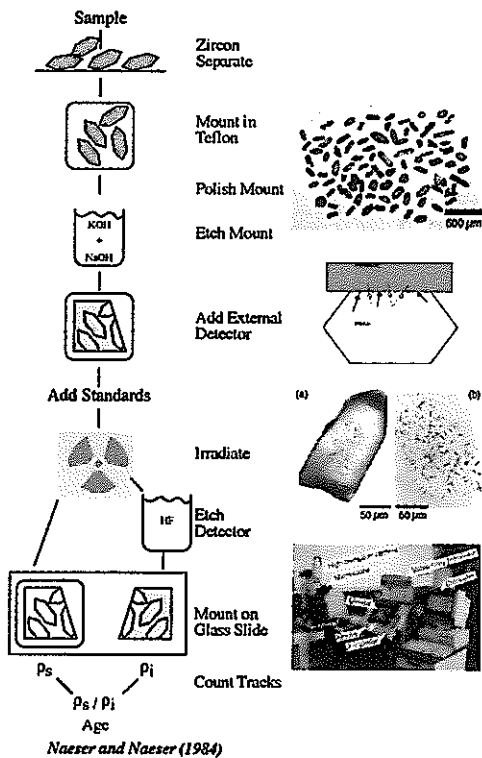
FT法とは、 ^{238}U 原子核が自然界で一定速度で自発核分裂を生じ、ガラスや結晶内にFT(核分裂飛跡)を残すことを利用した年代測定法である。その際FTは2つの機能をもつ。1つは時間とウラン濃度に比例してFT密度が増加することを利用した時計としての機能、もう1つは一定長をもって生成するFTが加熱により短縮することを利用した地質温度計としての機能である。

FT年代測定部位は外部面と内部面があり、それぞれトラック長分布に違いがある(右図)。年代測定にはウラン濃度を評価する ^{235}U の誘導核分裂飛跡を外部ディテクター上で計測する方法が一般的に用いられる(左図)。一方FTにはセミ・トラックとコンファインド・トラックがあるが、特に全長がわかるコンファインド・トラックを用いて短縮化率や長さ分布パターンからその試料の持つ年代の意義・熱史情報が得られる。



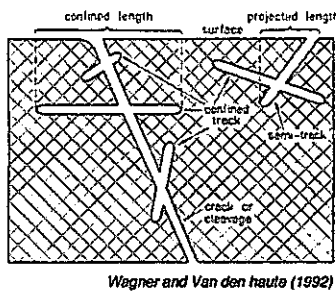
(a) 内部面:ED1法 (b) 外部面:ED2法

●ジルコンの内部面と外部面の
フィッション・トラック

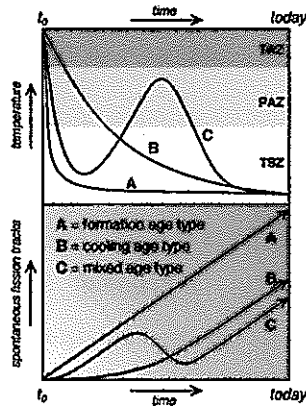


●外部ディテクター法を用いた
FT年代測定の流れ

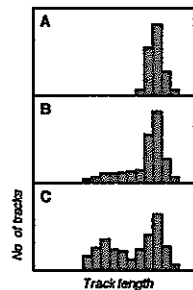
トラックの種類



熱史パターン

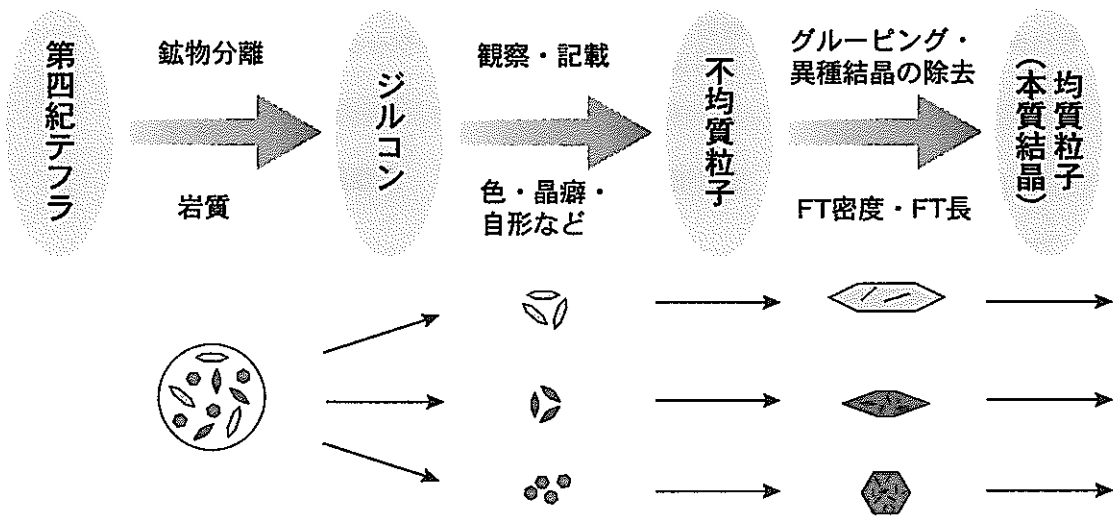


トラック長分布パターン



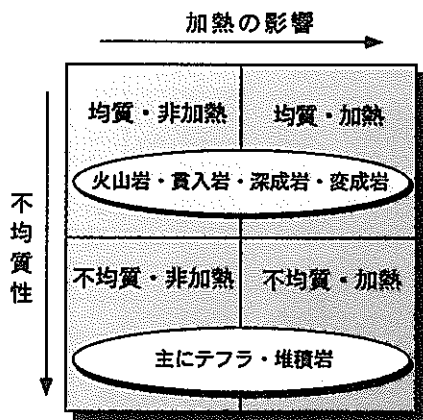
●トラック長を用いた熱履歴解析

ポスター2：試料および分析の流れと検討項目



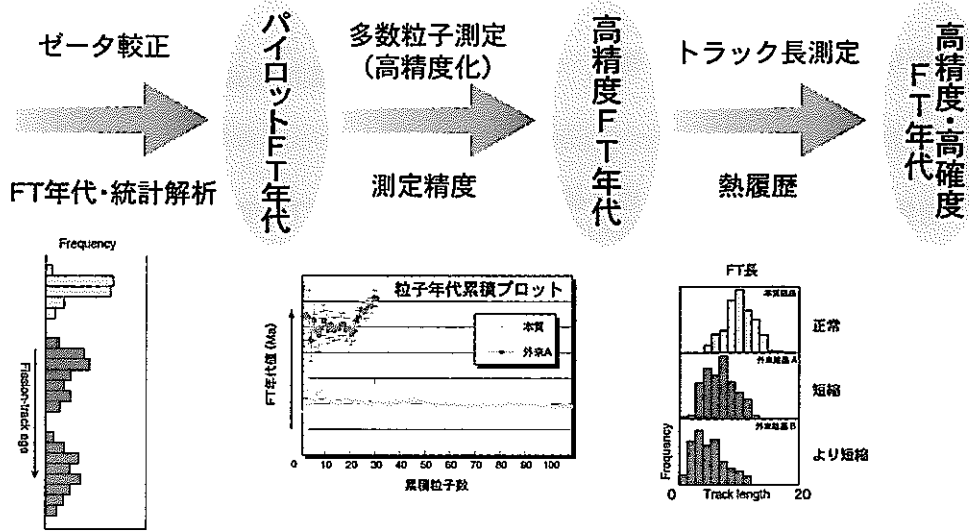
●試料評価

一般に年代試料は、純粋かつ非変質であることを前提として取り扱われるが、現実にはその前提要素を満たさない場合が多い。測定試料を均質性と被加熱性の両面から分類すると下図のようになる。年代測定をする場合、対象試料がどこに位置するかを的確に把握することが大切である。FT法では、テフラのように外来結晶の混入の恐れがある試料でも、結晶1粒子ごとの年代データから試料の均質性の検討が可能であり、また地熱ボーリング試料のように生成時に降被熱影響の可能性の高い試料では、FT長分布から年代値の若返りを検討できる。



●本質結晶と異種結晶の識別基準

| 検討項目 | 本質結晶 | 異種年代(外来)結晶 |
|------------------|--|--|
| 色 | 相対的に最も薄い色(無色～桃色)を示す場合が多い | 様々な色調(赤色～褐色)を呈する |
| 透明度 | 第四紀試料では透明 | 第三紀試料より古くなると濁色を示す |
| 自形性 | 基本的には自形。異種起原結晶が加熱でリセットされた場合には自形とは限らない | 自形結晶や磨耗した結晶など様々なものを含む |
| 晶癖結晶形態 | 相対的に最も薄い色(無色～桃色)を示す場合が多い | 特有な傾向をもたず様々なものを含む |
| 自発トラック密度 | 相対的に最も低い場合が多い | 一般には相対的に高い |
| 自発トラック密度のエッチング速度 | 相対的に最も遅い | 相対的に速い |
| 自発トラック密度の異方性 | 相対的に強い | 相対的に弱い |
| 自発トラック長の分布 | 正常長をもち分布も正常 | 短縮化し、分布も短い方にシフトしている場合がある |
| ウラン濃度 | 試料ごとに特有な傾向をもち均質性がある。異種結晶が噴出時の加熱でリセットされた場合はその限りではない | 特有な傾向をもたず様々なものを含む |
| χ^2 検定 | 合格する | 一般には失格するが、一起原に限定される場合には合格することもあり注意を要する |

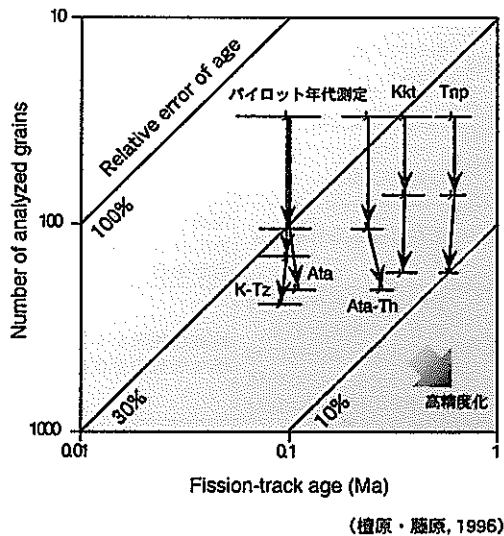


●高精度測定

第四紀テフラの高精度年代測定には、以下の3点

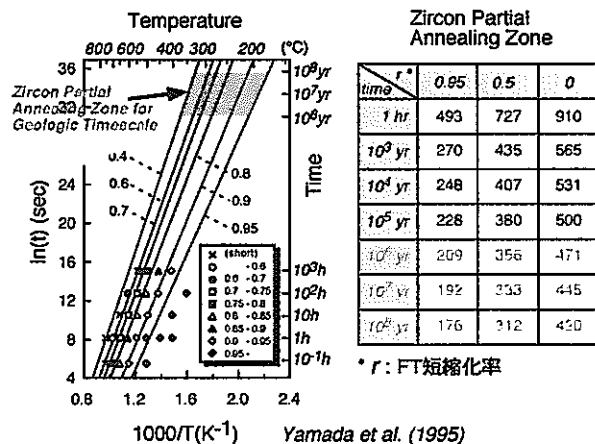
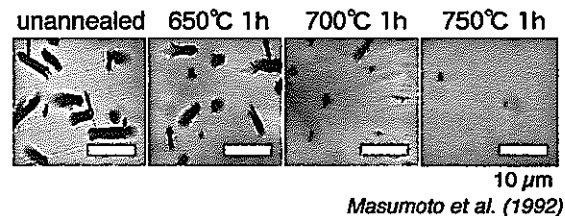
1. ゼータ校正
2. 低自発FT密度の正確な測定
3. 本質結晶の識別

が確実に実行された上で、さらに自発FTを多数計数することが必要である。具体的な測定粒子数（面積）の目安は、パイロット年代測定により得られた結果をもとに、目標精度に合わせ見積もることが可能である（下図）。



●FT長解析

FT長は加熱により短縮し、一度短縮すると元に戻らない性質をもつ。また、FT長の短縮化率は加熱温度と時間の関数で表わされ、試料の熱史解析に広く適用されている。下の図表はジルコンの加熱実験データを示している。第四紀テフラ試料の年代測定の場合、FT長が正常で短縮化していない本質結晶と、テフラへの混入時に短縮化したFT長分布をもつ外来結晶の区別に威力を発揮する。



15. 日本列島周辺における第四紀後期の気候および海水準の変遷

米田茂夫・伊勢明広（株式会社ダイヤコンサルタント）
藤原治・松末和之（核燃料サイクル開発機構）

1. まえがき

将来の地質環境を予測する上で気候や海水準の変動を把握することは非常に重要である。それは、気候や海水準の変動が地下深部の地下水の流動系や水質などを変化させる可能性があるからである。このような気候や海水準の将来の変化の程度を予測するためには、基礎資料として第四紀におけるそれらの変動様式を把握する必要がある。

そこで、年代値等の推定精度が比較的高いと期待される 1980 年以降に公表された文献 150 編から、第四紀（最近 100 万年間を対象）における日本列島周辺の気候（気温および降水量）および海水準変動に関する定量的な推定値を収集し、変動様式の把握を試みた。

なお、海水準変動に関しては、以下に示す理由から日本列島周辺にこだわらずに収集を行った。①更新世中期以降は汎世界的な氷河性海水準変動によって特徴づけられること。②日本列島における定量的な研究例に限られること。

なお、気候（気温および降水量）に関しては、現在の日本列島付近の気候区（吉野，1981）ごとに取りまとめた。

2. 変動様式

2-1 海水準

海水準は主に以下の手法を用いて推定されている。①地形学的・地質学的海水準指示者（原地性サンゴ化石に放射年代測定が適用可能であるサンゴ礁段丘など）を用いた直接的な手法。②海水の蒸発に伴う同位体分別により氷河の消長に伴って変化してきた海水の酸素同位体比（ $\delta 18O$ ）を検出できる海底堆積物中の有孔虫殻を用いた間接的手法。

図 1a に両手法による最近約 24 万年間の海水準変動曲線の概略を示す。図 1b は過去 100 万年間の酸素同位体比（ $\delta 18O$ ）変動曲線の代表例であり、近似的に相対的な海水準の変動を示している。

$\delta 18O$ 曲線は、これまでに数多くの深海コアから得られており、一般的に約 70 万年前以前は比較的振幅が小さく周期が短い変動をするが、それ以降は現在に至るまで比較的振幅が大きく

周期が長い鋸歯状の変動を示す。一般に最近約 70 万年間の変動周期は、 $\delta 18O$ 曲線のスペクトル解析により、10 万年周期が卓越するとされている（Berger et al., 1994 ほか）。

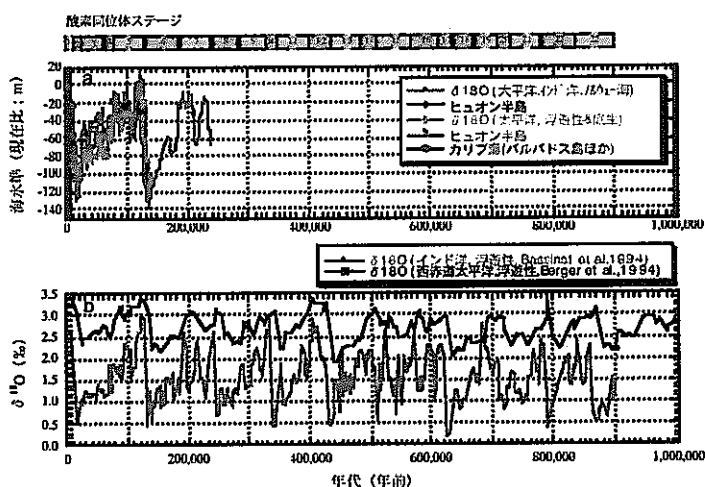


図 1 a : 海水準変動曲線の概略
b : 酸素同位体比（ $\delta 18O$ ）変動曲線の代表例。

最終間氷期（酸素同位体ステージ 5（Marine Isotope Stage：以下「MIS」と表記））以降の海水準に関しては多くの見解が示されており，その極大・極小期の代表値は表 1 のようにまとめられ，最近約 13 万年間の変動幅は 130m 前後と考えられる．それ以前の年代域に関しては直接法による推定例が稀少であるため推定困難であるが，Shackleton (1987) は過去 250 万年間の海水準について $\delta 180$ 曲線から，間氷期には現在より数m以上高くなったことはなく，MIS 12 と MIS 16 の氷期（それぞれ約 43 万年前，約 63 万年前）には最終氷期（MIS 2）よりさらに低下していたとの見解を示している．

表 1 最終間氷期以降の気候最盛期における海水準

| 年代 (yrs.B.P) (MIS) | 海水準(m) (代表値) | 対象地域 | 引用文献 |
|--------------------------|-----------------|--------|-------------------------------|
| ca.6,000 (MIS 1a) | 0~5 | 日本各地 | 太田ほか (1986) ほか |
| ca.18,000 (MIS 2b) | -121±5 | バルパドス島 | Fairbanks (1989) |
| 120,000~130,000 (MIS 5e) | +6 | ヒュオン半島 | Chapell and Shackleton (1986) |

2-2 気候

気候に関しては，定量的な推定を行っている研究例が少ないうえ（表 2），推定値の幅が大きいことから，詳細な変動解析が非常に困難であった．推定値が比較的多く収集できた日本海側気候区（図 2）では，約 8 万年前から 2 万年前にかけて現在比 -8℃以下だった年平均気温は，2 万年前頃から次第に上昇し，約 6,000 年前に現在比 +2~+3℃に達したようである．

3. まとめ

海水準に関しては過去 100 万年間にわたる変動様式の概略が把握できたのに対し，気候に関しては特に降水量推定値が稀少で，変動様式の把握が非常に困難であり，推定値を比較的多く収集できた気温でさえ推定年代域が最近約 8 万年間に限られた．以上の変動様式は表 3 のようにまとめられる．

表 3 気温および海水準の変動様式（現在比）．

| 項目 | 解析年代範囲 | 最大 | 最小 | 変動幅 | 変動周期 |
|----------|------------|--------|----------------|-----------|----------------------------|
| 気温(日本海側) | 最近 8 万年間 | +2~+3℃ | ≤ -8℃ | ≥ 10~11℃ | — |
| 海水準 | 最近 250 万年間 | +6m | < ca. -121m | > ca.127m | 最近約 70 万年間で約 10 万年周期が卓越 |

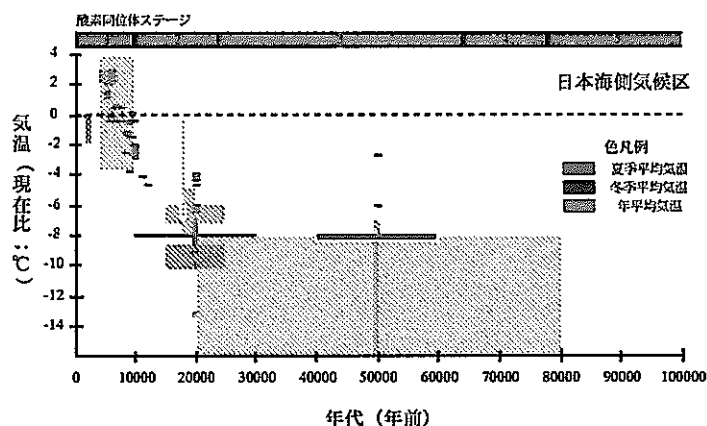


図 2 日本海側気候区における平均気温変動図．

参考文献

- Bassinot, F.C., Labeyrie, L.D., Vincent, E., Quidelleur, X., Shackleton, N.J. and Lancelot, Y. (1994) : The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 126, 91-108.
- Berger, W.H., Yasuda, M.K., Bickert, T., Wefer, G. and Takayama, T. (1994) : Quaternary time scale for the Ontong Java Plateau: Milankovitch template for Ocean Drilling Program Site 806. *Geology*, 22, 463-467.
- Chappell, J. and Shackleton, N. J. (1986) : Oxygen isotopes and sea level. *Nature*, 324, 137-140.
- Fairbanks, R.G. (1989) : A 17,000-years glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 324, 637-642.
- 太田陽子・石橋克彦・松島義章・松田時彦・三好真澄・鹿島薫・松原彰子 (1986) : 掘削調査に基づく伊豆半島南部における完新世相対的海水準変化. *第四紀研究*, 25, 203-223.
- Shackleton, N. J. (1987) : Oxygen isotopes, ice volume and sea level. *Quaternary Science Reviews*, 6, 183-190.
- 吉野正敏 (1981) : 日本の気候地域区分. *災害の研究* 12.

16. 海岸移動調査のためのジオスライサー地層採取法

原口強（復建調査設計株式会社）

藤原治（核燃料サイクル開発機構）

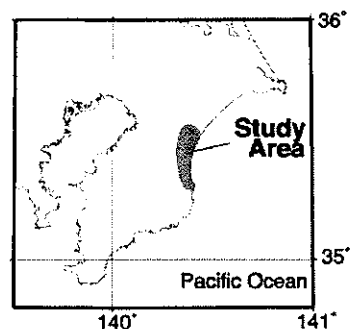
高田圭太（独立行政法人産業技術総合研究所活断層研究センター）

1. はじめに：

過去の海浜堆積物は、過去に海面がそこにあったことの指標である。海浜堆積物は堆積相の特徴から認定できるので、海浜堆積物の年代と高度が分かれば、相対的海水準や地殻変動が復元できる。海浜堆積物の認定のためには、地下の堆積物を連続的に定方位でしかも面的に採取することが不可欠である。また、 ^{14}C 年代測定に用いる貝殻などの試料を得るためには、できるだけ大容量の海浜堆積物を採取する必要がある。ジオスライサーを用いた地層採取法は、このような研究の前提となる末固結層の大容量で定方位のサンプリングを可能とするもっとも有効な調査法の一つである。ここでは、日本の代表的砂浜海岸である房総半島の九十九里浜（（第1図）での調査事例を報告する。

2. 調査地点：

調査測線は海岸線と直交して、海岸線から内陸側へ山麓線までの区間に4本設定した。河川に沿う夷隅川測線（IS, F）と真亀川測線（M）、および河川の影響の少ない東金測線（T）と大原測線（OH）である。それぞれの測線では、ほぼ500m間隔に掘削地点を選定した。



第1図 研究対象地域

3. 調査の方法と手順：

活断層調査用に開発されたジオスライサー（中田ほか，1997，原口ほか，1998）の手法を使って地層を採取した。各採取地点が南北約40km，東西約10kmと広範囲に点在したため、重機作業は建設現場で利用されている自走式油圧杭打ち機械（LHV0.4m³タイプ）によって各地点間を移動しながら作業を進めた（写真1）。作業はジオスライサーを横にしたままのキャッチから鉛直打設、引き抜き、採取後の穴埋めまでシステマティックに行うことができた。1ヶ所あたりの作業時間は準備から撤収まで約1～1.5時間程度、移動時間を含めて2時間程度であった。使用したジ



写真1 Long Geo-Slicer の鉛直打設作業

オスライサーは長さ 400cm, 幅 40cm, 厚さ 5cm の定方位試料が採取できる装置である。

地下水位の高い地点では地層の抜け落ちが問題となった。解決策として、先端部の断面をテーパー状に練った改良装置を採用した結果、抜け落ちは殆どなくなり地層の採取率を高めることができた。

採取した地層は直ちに整形後、写真撮影を行い、スプレー糊もしくは樹脂（OH-1：東邦化学製）によるはぎ取り保存処理を施した（写真 2，左）。残試料を再度整形後、堆積構造などの解析に必要な部分を、堆積構造を乱さないように専用ケース（ステンレス製 50×20×4cm）に移し代えラップで密封保存した（写真 2，右）。これらの試料は、ラミナの走向傾斜の測定、堆積物の詳細観察、構造記載および化学分析用とした。

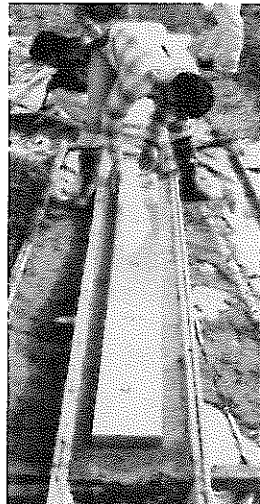


写真 2 サンプル処理作業

剥ぎ取り保存処理（左）と、専用ケースへの保存

4. 調査結果：

採取された試料には、打設・引き抜きによる変形はほとんど認められず、堆積物の構造を深さ 2~4m にわたり、非常に明瞭に観察することができた。東金測線では現在の海岸線より 8km 内陸の地点で、ピート層の下位に *Macaronichnus* 生痕化石（いわゆるヒメスナホリムシ）を含むラミナの明瞭な前浜堆積物が確認された。真亀川測線でも、いくつかの地点で同様の生痕や貝殻碎片などの粗粒物質を含むステップ堆積物を含むビーチの堆積物が採取された。

夷隅川測線のうち最も海寄りの地点（F-2）は浜堤背後のラグーンにあたり、干潮時に干上がった湿地で地層を採取した。そこでは、現在と同様の堆積環境を示す有機質シルト層とそこに挟まる明瞭なラミナをもつ砂層が採取された（写真 3）。さらに大原測線では、泥岩とその上に直径 10cm 程度の円礫を含む礫層と砂層が採取され、埋没ベンチが確認された。

これらの詳細な解析結果は共同研究者により以下の論文として公表された。

増田富士雄・藤原 治・酒井哲弥・荒谷 忠(2001)：房総半島九十九里浜平野の海浜堆積物から求めた過去 6000 年間の相対的海水準変動と地震隆起。地学雑誌，110，650-664

増田富士雄・藤原 治・酒井哲弥・荒谷 忠・田村 亨・鎌滝孝信（2001）：千葉県九十九里

浜平野の完新統の発達過程, 第四紀研究, 40, 223-233.

参考文献:

中田 高・島崎邦彦(1997)活断層研究のための地層抜き取り装置 (Geo-slicer). 地学雑誌, 106, 59-69

原口 強・中田 高・島崎邦彦・小島圭二・石丸恒存 (1998) 未古結堆積物の定方位連続地層採取方法の開発とその応用. 応用地質, 39, 59-69

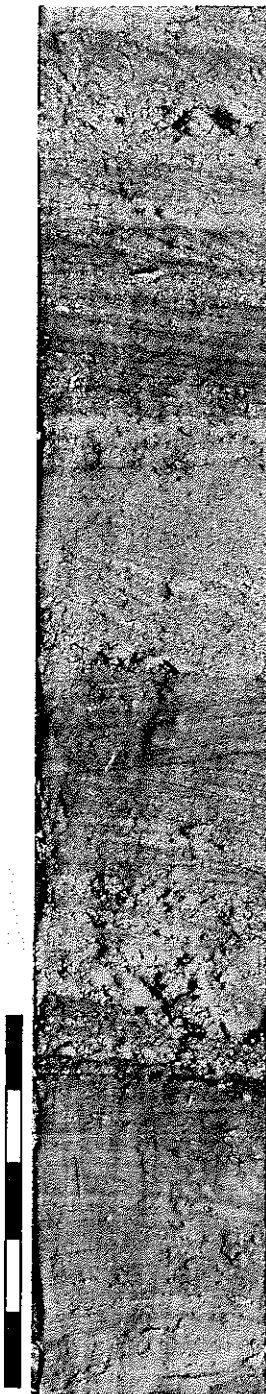


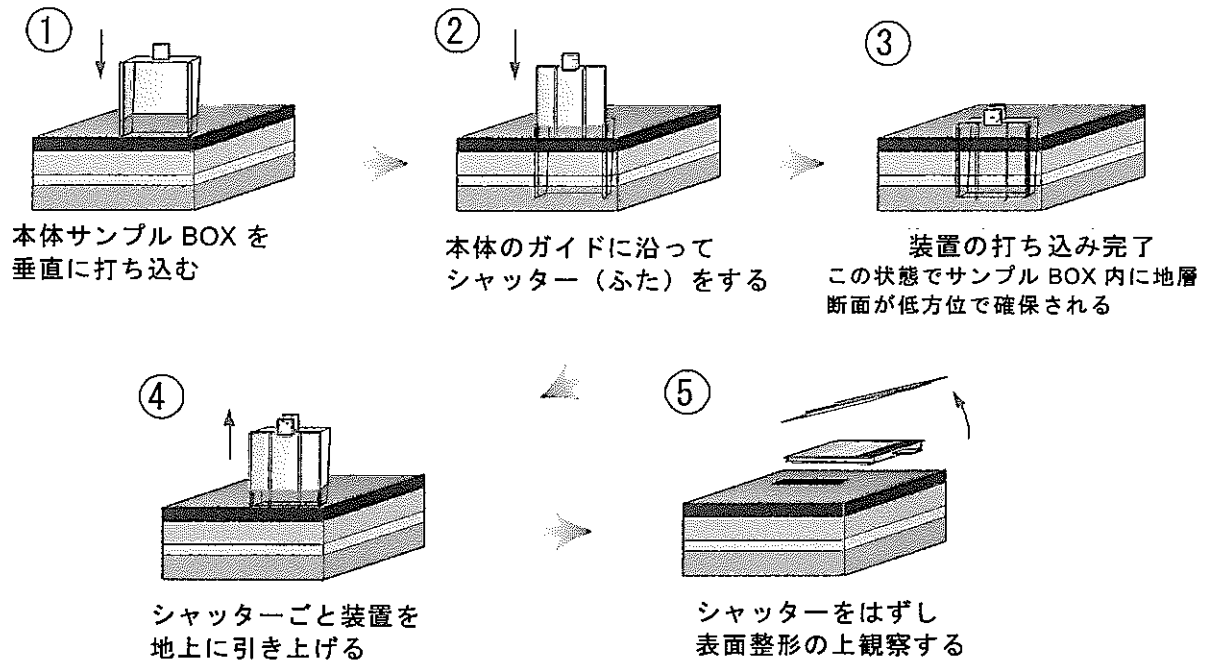
写真3 剥ぎ取り試料のサンプル

(夷隅川測線; F-2)

写真はそのうち GL2.0~3.9m。

スケールバーは 10cm 間隔。

ジオスライサー調査の流れ (Fig. 1)



調査事例（九十九里周辺の海岸平野）

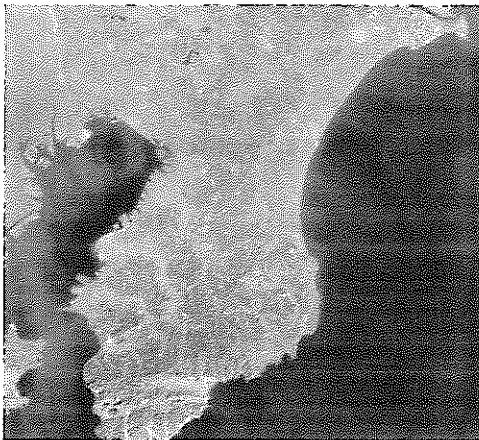


Fig. 2 研究対象地域ランドサットイメージ



Fig. 3 大東崎より夷隅川を望む。
河口付近にはラグーンが発達する。

ジオスラサー作業写真

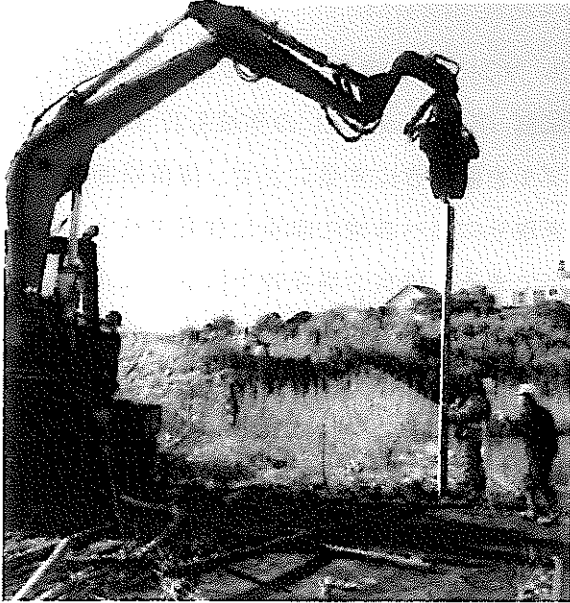
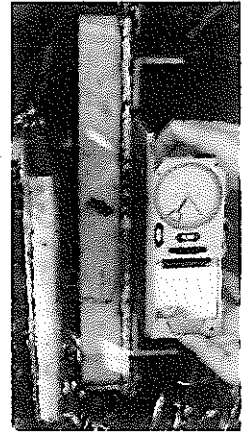


Fig. 4 (左) 夷隅川河口付近に発達するラグーンでの Long-Geoslicer 調査

Fig. 5 (中央) シャッター (ふた) の打ち込み。本体に設けたガイドに沿ってふたをすることで、地層をサンプルボックス内に確保する。

Fig. 6 (右) Geoslicer ではサンプルボックスの打ち込み時に観察断面の方位を決めることができる。



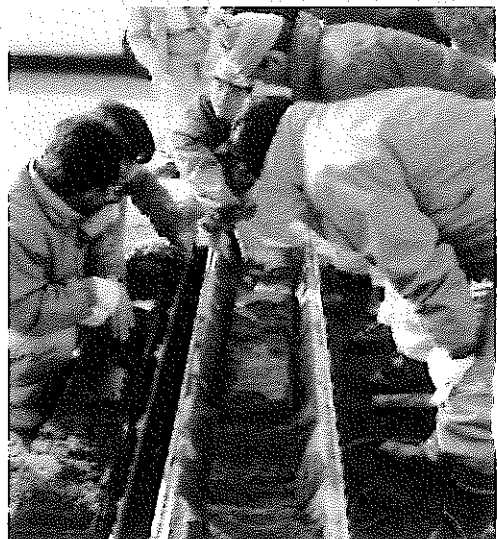
ジオスラサーサンプルの利用

<調査地での利用例>



Fig. 8 (右) Geoslicer 調査では、現場で即座にサンプルの連続状況を確認できる上、観察サイトを設けることで多くの地点のサンプルを対比しながら観察することができる。また、面的な試料を採取することにより多くの人が同一のサンプルを見ながらディスカッションすることも可能である。

Fig. 7 (左) Geoslicer で得られたサンプルでは、堆積物の走向・傾斜などの情報を計測することができる。このようにして海浜堆積物の堆積構造を定量的に把握することにより、海岸平野の発達を考察する上で非常に重要な情報を得ることができる。



サンプルの保存・保管

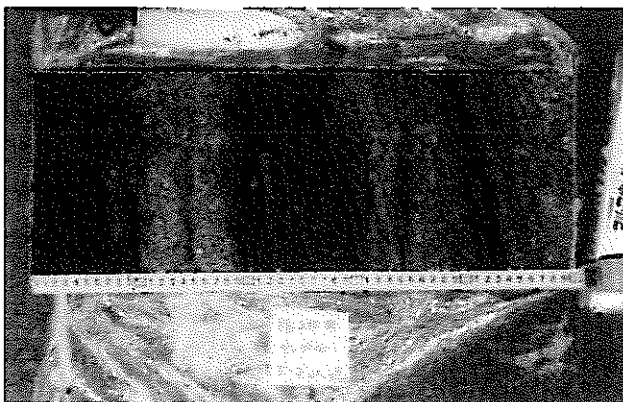
・剥ぎ取り試料の作成



Fig. 9 サンプルの保管に関しては、剥ぎ取り試料 (Peel-sample) の作成も行う。サンプルを横置きにすることで、垂直壁面の剥ぎ取りに比べ非常に容易に作業を行うことができる。砂質の堆積物では簡便なスプレー糊を用いた方法も有効である。本調査時にはグラウチングに使用される樹脂 (OH-1 東邦化学製) を用いることで、堆積物の粒度の違いを気にすることなく良質の剥ぎ取り保存資料を得ている。

・サンプルケースへの保管

Fig. 10 サンプルは観察サイトに運び、ねじり鎌等で表面整形した後観察する。また、必要に応じて保存用のケースにサンプルを移し、そのまま保管することもできる。



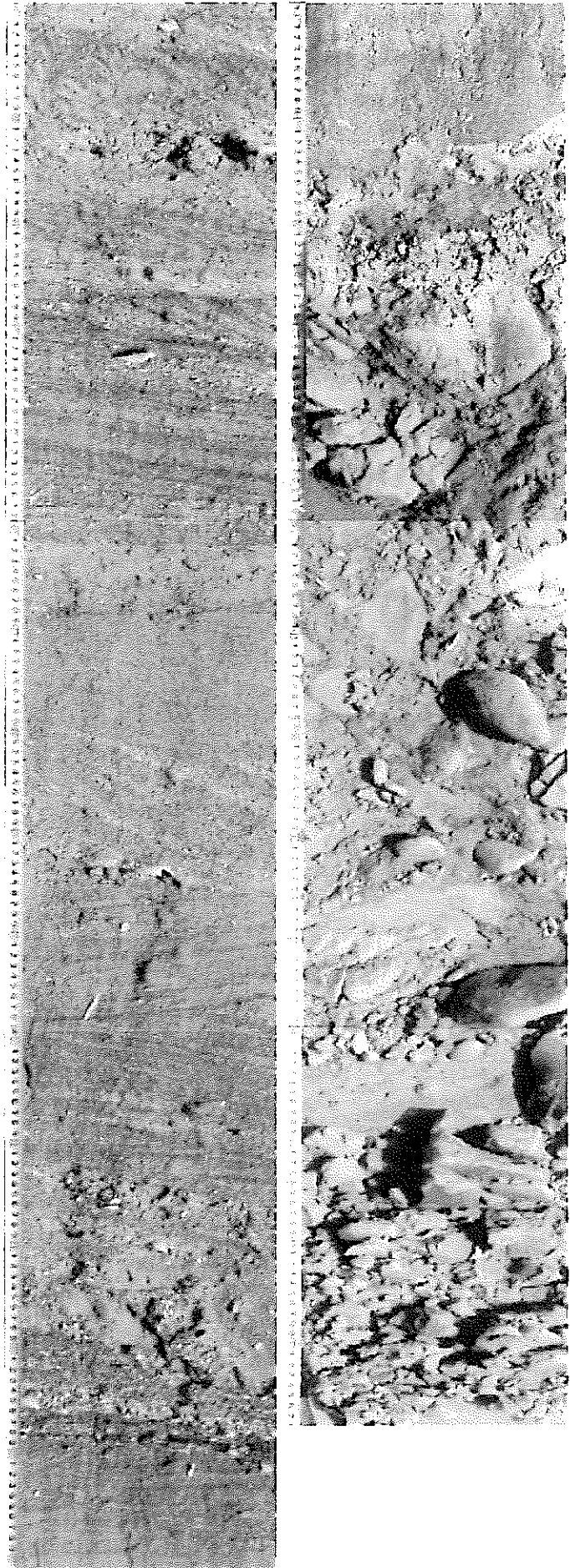
保存用試料は専用のサンプルケース (ステンレス製 幅 20×長さ 50×深さ 4cm) に堆積構造を壊すことなく保管することができる (Fig. 11、左)。これらの試料は研究室に戻ってからのディスカッション、各種分析用のサンプル採取に用いることができる (Fig. 12、右)

サンプルの見本

＜剥ぎ取り試料＞

Fig. 13 (左) 夷隅川河口付近のラグーンで採取したサンプル。堆積物中には平行ラミナや。クロスベッティングが明瞭に認められる。また、貝化石の集積層や均質なシルトの堆積も認められ、調査地点における堆積環境の変遷をダイナミックに知ることができる。

Fig. 14 (右) 現海岸線より 8km 内陸で採取したサンプル。最下層には上総層群の泥岩からなる基盤岩が採取され、この上位にφ10cm 程度の円礫を含む砂礫層が堆積する。基盤岩は埋没ベンチを示しているものと推定される。



17. 沈 降 量 分 布 図

高木俊男・藤原治（核燃料サイクル開発機構）

佐々木勝司・川崎輝雄（サンコーコンサルタント株式会社）

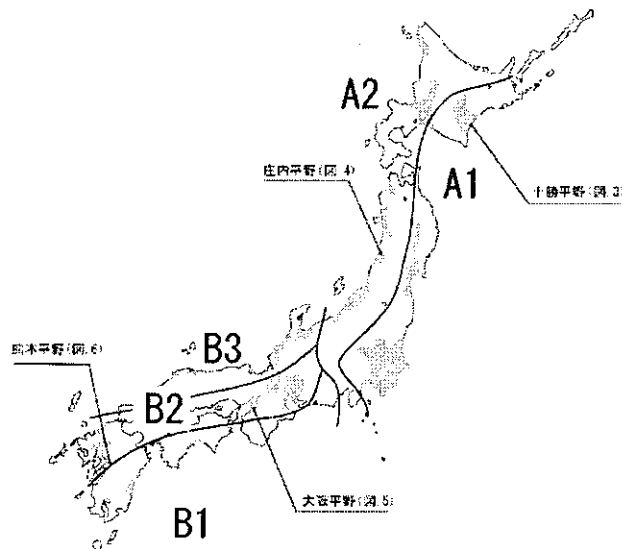
1. はじめに

平野・盆地における沈降水量や変動速度を把握するために、日本 27 地域（図.1）の平野・盆地下の堆積層の深度・層厚を検討し、鮮新世以後（主に第四紀）の沈降水量分布図を作成した。

その例として、4 平野（十勝・庄内・大阪・熊本）における等深線図を図.3～6 に示す。

また、各堆積盆中心付近のボーリングデータを検討し、沈降速度を求めた。沈降水量については、ほとんどが浅海性～半淡水性堆積物のため、堆積物の層厚と概ね等しいと考えた。このため、堆積深度についての補正は行っていない。沈降速度については厚密補正を行った。堆積盆の地域区分は成瀬（1990）による。

図.1 対象平野・盆地と地域区分



2. 沈降水量

各地域の特徴についてまとめると以下の通りである（図.2）

①東北日本弧外側区（A1）

一般に沈降は顕著でないが、十勝平野では断層沿いでの沈降が顕著で第四紀全体で最大 700m 沈降した。関東平野中心部では第四紀に最大 2500m の地層が堆積した。

②東北日本弧内側区（A2）

秋田・庄内・新潟平野では 2～1 Ma に沈降が顕著となり、堆積盆の中心では第四紀全体で 2000m 以上沈降した箇所がある。

③西南日本弧外側区（B1）

宮崎平野では 5 Ma 頃より堆積盆を形成し、堆積盆中心で 1200m 沈降。2 Ma 以降は隆起に転じた。

④西南日本弧中央帯 (B 2)

・ B 2-1 (濃尾・近江・大阪)

5 ~ 3 Ma に堆積盆が形成され、堆積盆の中心での沈降量は 1000~2500m におよぶ。いずれも断層沿いでの沈降顕著。

・ B 2-2 (福岡・筑紫・熊本)

一般に沈降は顕著ではないが、熊本では 0.4Ma 以降断層近傍で最大 300m 沈降した。

⑤西南日本弧内側区 (B 3)

・ B 3-1 (北陸周辺)

3.5Ma 頃から沈降。富山平野では堆積盆の中心での沈降量が第四紀全体で 2000m におよぶ。

・ B 3-2 (出雲・米子)

中期更新世から沈降を開始するが、沈降傾向は顕著ではない。沈降量は 100m 以下。

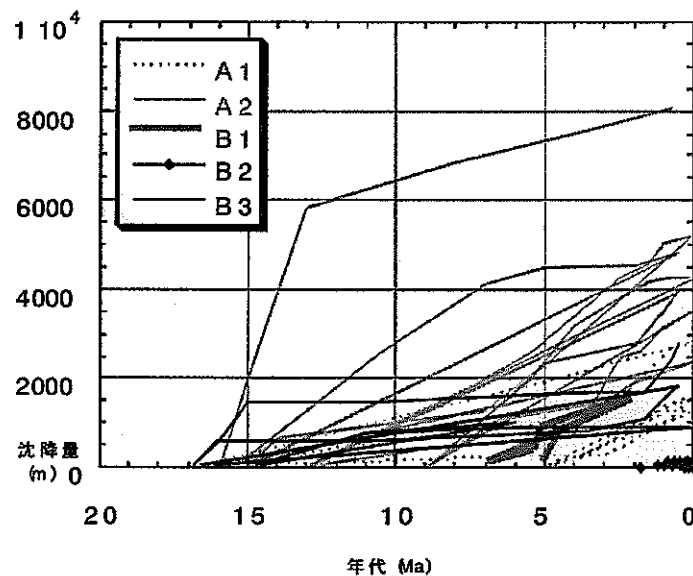


図. 2 累積層厚と地域的特徴

3. 沈降速度

- ①A 1 : 5~1Ma は十勝平野で 23~35 cm/ky, 関東平野で 67.3/ky
- ②A 2 : 5~1Ma は 10~130 cm/ky
- ③B 1 : 5Ma 前後にのみ急速に沈降が進む (最大 250m/ky)
- ④B 2 : 2Ma 以降の沈降速度は 20~150 cm/ky
- ⑤B 3 : 北陸では 3.5Ma 以降で沈降顕著 (20~130 cm/ky)

参考文献

成瀬洋 (1990) : 日本の第四紀盆地の形成と変遷、大阪経済大学教養部紀要、8、pp.70-85

a. 長流枝内層基底
(1.5~2.0Ma)

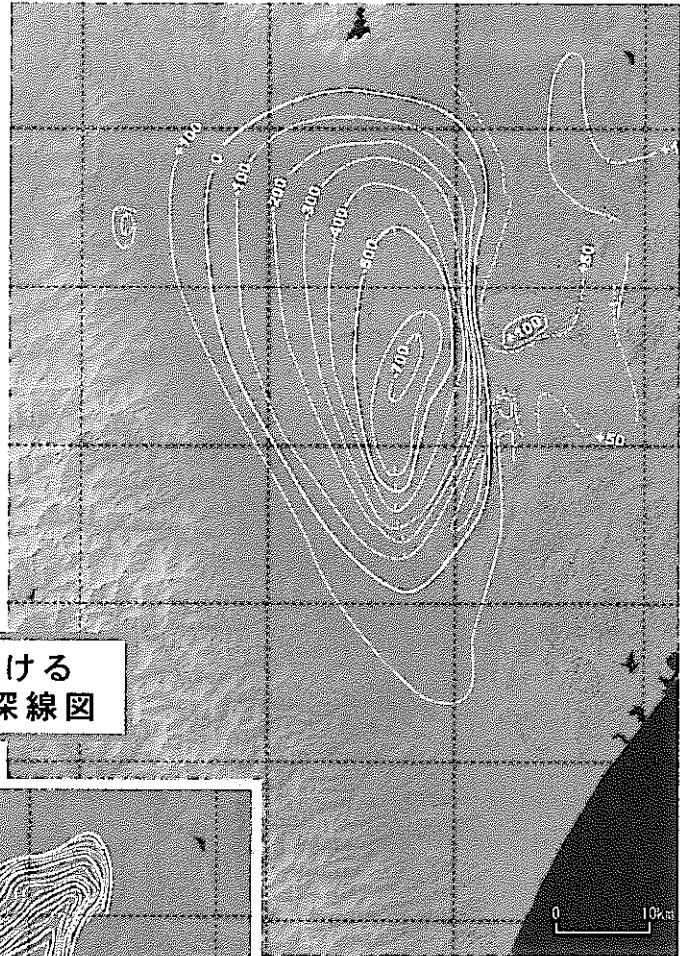


図. 3 十勝平野における
第四紀層等深線図



b. 洪山層基底
(0.7~0.96 Ma)

図.4 庄内平野における
第四紀層等深線図

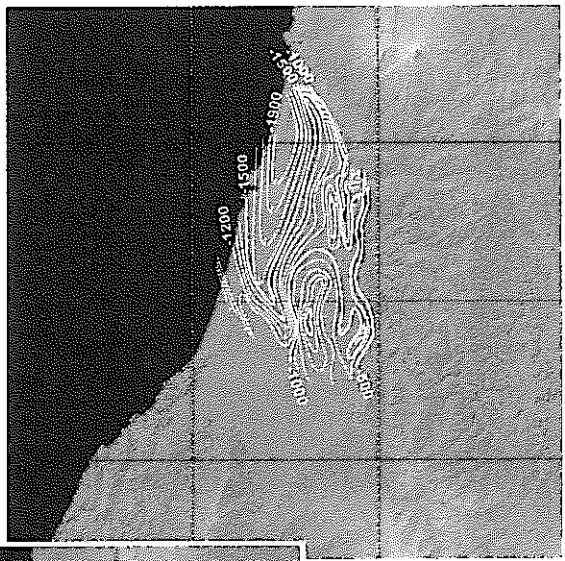
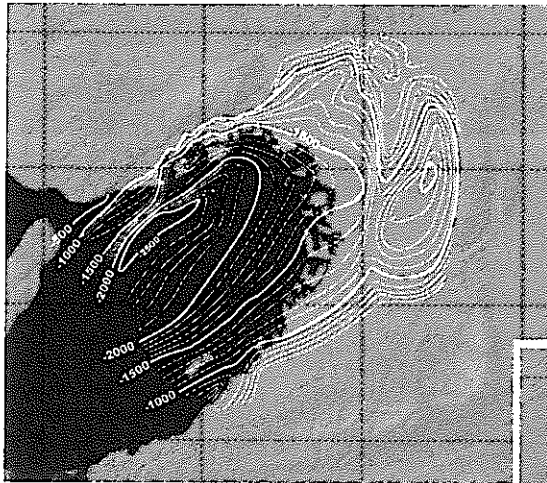
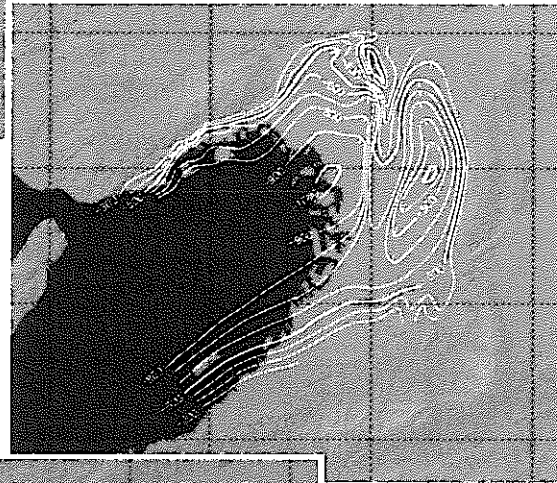


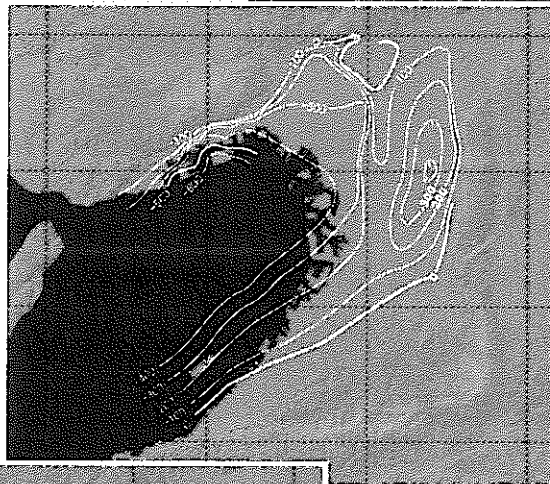
図.5 大阪平野における
第四紀層等深線図



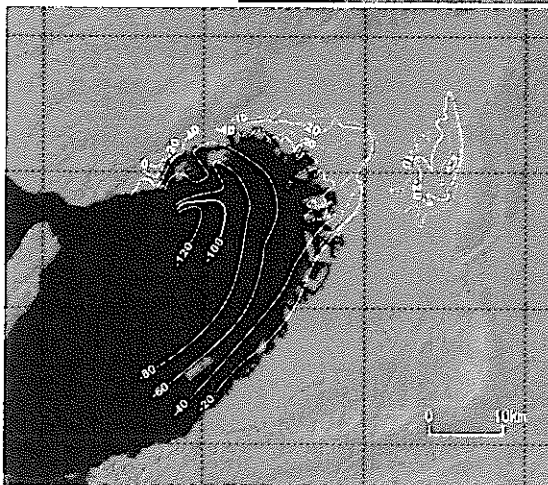
a. 基盤岩上面深度 (約3Ma)



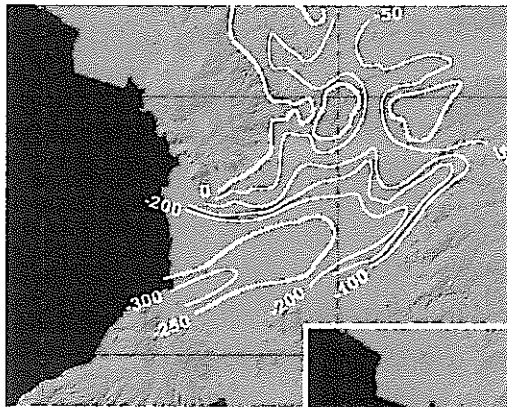
b. 大阪層群下部層
基底 (1.6Ma)



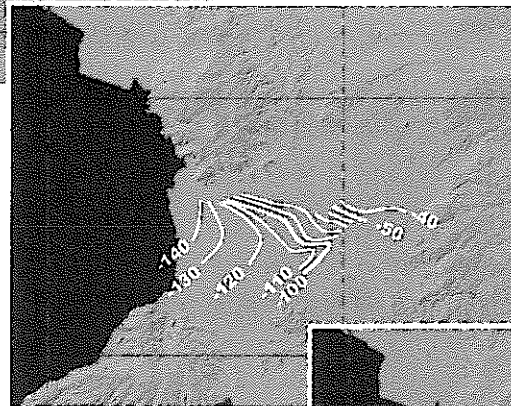
c. 大阪層群上部層基底
* Ma3層相当:(0.87Ma)



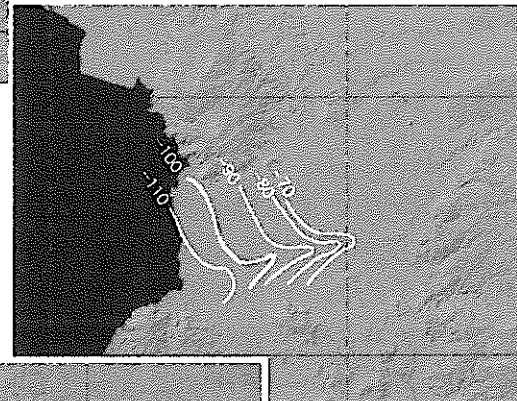
d. Ma12層上面
(最終間氷期高海面期)



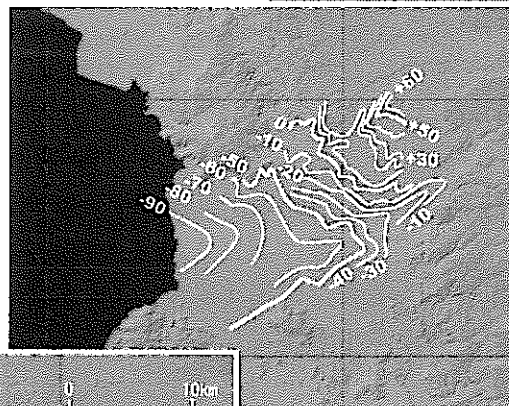
a. 先阿蘇火山岩類上面深度(0.4~2.2Ma)



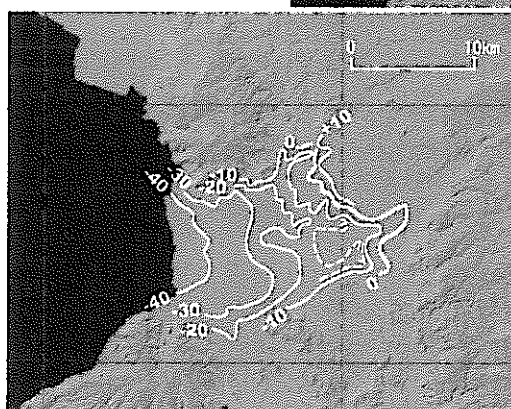
b. Aso-3火砕流堆積物
基底 (105~125Ka)



c. 御幸層中部上面
(最終間氷期高海面期)



d. Aso-4火砕流堆積物基底
(70~90Ka)



e. 沖積層基底

図. 6 熊本平野における
第四紀層等深線図

18. 日本の海成段丘アトラス

段丘アトラスワーキンググループ*

1. 新しい段丘アトラスの必要性

日本列島に分布する海成段丘の情報を収録したデータベースとしては、1987年と1992年に太田ほかが発行した“Middle Holocene shoreline map of Japan”や“Last interglacial shoreline map of Japan”がある。これらには最終間氷期最盛期と縄文海進期における旧汀線の位置と高度が縮尺1/200万地図などに記載され、日本列島の地殻変動を概観できるようになっており、当時としては画期的な成果であった。しかし、いっそう詳しい地殻変動の研究には、個々の海成段丘の分布や形成年代、それらに関する論文などを検索できるようにするとともに、より長期にわたり（いろいろな時間枠について）詳しく海成段丘の分布を捉える必要がある。さらに段丘とテフラの層序関係や数値年代値などのデータが急増した結果、段丘対比そのものに修正が求められるケースも生じており、データベースの新たな構築が必要となってきた。

2. 段丘アトラスの内容

段丘アトラスは、ワーキンググループおよび研究協力者が蓄積していた各地の海成段丘に関するデータを基礎に、新たな資料を加えたものであり、日本列島の海岸沿いに分布する海成段丘を網羅して、各地域の海成段丘および地殻変動の特徴を記載することを目標とした。なお、一部の平野については河岸段丘の分布も取りまとめた。

この段丘アトラスでは、以下のような内容のとりまとめを行った。

(1) 段丘区分図およびデータシート（基本的に縮尺1/5万図幅ごと）

段丘区分図には、各段丘面、旧汀線の分布、年代や地殻変動に関するデータ地点を記載し、各段丘面には段丘の成因（海成・河成）や海洋酸素同位体ステージに対応づけられた記号を添付した。

データシートは、段丘編年図・表、年代や地殻変動に関するデータ、解説文からなる。

段丘編年図では段丘とテフラとの層序関係を示し、段丘編年表では各段丘の海洋酸素同位体ステージへの対応づけの確からしさ（確実度）を3段階で示した。

年代に関するデータは、段丘の年代推定に必要な数値年代値や段丘とテフラの層序関

*ワーキンググループ：小池一之（駒澤大学・代表）・町田洋（東京都立大学名誉教授）・貝塚爽平（東京都立大学名誉教授・故人）・米倉伸之（東京大学名誉教授・故人）・山崎晴雄（東京都立大学）・長岡信治（長崎大学）・前李英明（広島大学）・八木浩司（山形大学）・渡辺満久（東洋大学）・鈴木毅彦（東京都立大学）・宮内崇裕（千葉大学）・藤原治（核燃料サイクル開発機構）

研究協力者：太田陽子（横浜国立大学名誉教授）・平川一臣（北海道大学）・杉原重夫（明治大学）・海津正倫（名古屋大学）・森山昭雄（愛知教育大学）・森脇広（鹿児島大学）・吉山昭（大阪学院大学）・吾妻崇（独立行政法人産業技術総合研究所）・澤祥（鶴岡高等専門学校）・奥村晃史（広島大学）・白神宏（北九州高等専門学校）・山下佐祐美（元株式会社アイ・エヌ・エー）・熊原康博（広島大学）・布施圭介（株式会社大和地質研究所）・三箇智二（日鉱探開株式会社）・中司昇（核燃料サイクル開発機構）・川崎輝雄（サンコーコンサルタント株式会社）

係などに関するもので、段丘区分図に示された地点ごとに年代値や柱状図を整理した。

地殻変動に関するデータは、海成段丘や河成段丘に基づくものおよび活断層に関するものからなる。段丘区分図に示された地点ごとに変動基準の種類（旧汀線アングル・段丘面など）、変動基準の高度とその精度、および地殻変動量を整理した。

解説文には、段丘編年とその精度、段丘分布や地殻変動の特徴、解決すべき問題点などを記し、参考文献を付した。

(2)旧汀線高度等値線図（縮尺 1/20 万）

地殻変動量は、海成段丘や海成層上面の高度から間氷期のユースタティックな古海面高度を差し引いて算出したが、ユースタティックな古海面高度は必ずしも確定していない。また、そのようにして求めた地殻変動量にはハイドロアイソスタシーの効果などが含まれているが、採用するモデルによってその効果の算定が異なるため、その効果の正確な把握は困難である。

本研究では、海成段丘の分布と旧汀線高度や海成層上限高度などの生データをプロットし、それらのデータに基づいて等値線図を作成した。これらの図はデータが豊富な海洋酸素同位体ステージ 1, 5e, 7, 9 の 4 ステージを対象に作成した。

3. 出版

段丘アトラスの成果は、東京大学出版会から「小池・町田編：日本の海成段丘アトラス」として 2001 年に出版された。これは CD-ROM を中心とする新しい出版形態の試みであった。

- ①解説書：全国を 21 の地域に分けて、段丘の対比・編年、地理的分布からみた地殻変動の特徴を、最新のテフクロロジーなどを背景に解説した。また、段丘アトラスのプロジェクトと平行して作成された第四紀層基底深度分布図から、全国の主要な平野の沈降運動についても解説した。これらから、過去約 12 万年間の、日本列島における地殻変動の地域特性を図にまとめて概説した。
- ②CD-ROM：3 枚の CD-ROM には、縮尺 1/5 万段丘区分図（563 枚）とそのデータシート、縮尺 1/20 万段丘分布図（旧汀線高度等値線図；333 枚）、代表的な 25 地域の段丘分布の鳥瞰図、27 平野の第四紀層基底深度分布図を収録した。HTML 形式での検索を可能とし、テキストを補うデータベースとした。
- ③付図：縮尺 1/200 万第四紀段丘分布図 2 枚（ステージ 5e, 7 & 9）を添付した。これらの図面は、1/20 万段丘分布図からコンピュータ編集したもので、旧汀線高度の等値線が付されている。等値線は段丘形成後の隆起量を近似的に表しており、それぞれ過去約 12 万年間、20 万年間、30 万年間の変動を表している。

なお、このプロジェクトは、故貝塚爽平氏の助言に基づいてスタートしたものであることを付記しておく。



図1 酸素同位体ステージ 5e の旧汀線高度等値線図（全国図の部分図）
 段丘を青のハッチ，旧汀線を青線，断層を赤線，等値線を黒線で示す。

19. 日本列島における侵食速度の分布

三箇智二(日鉱探開株式会社)、藤原治(核燃料サイクル開発機構)
大森博雄(東京大学大学院新領域創成科学研究科)

目的

地質環境の長期的な安定性を評価するためには、将来の侵食量やそれによる地形変化を予測する必要がある。そのために、まず、現在の侵食速度の分布を把握することを目的とする。

図1 基準高度分散量から算出した全国の侵食速度の分布
メッシュサイズは6×6km
データは国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)日本Ⅰ～Ⅲ」を使用

侵食速度推定方法

1. ダムに堆積する堆砂量から侵食速度を算定

(全国の82ダム流域 付図1)

[選択したダムの基準]

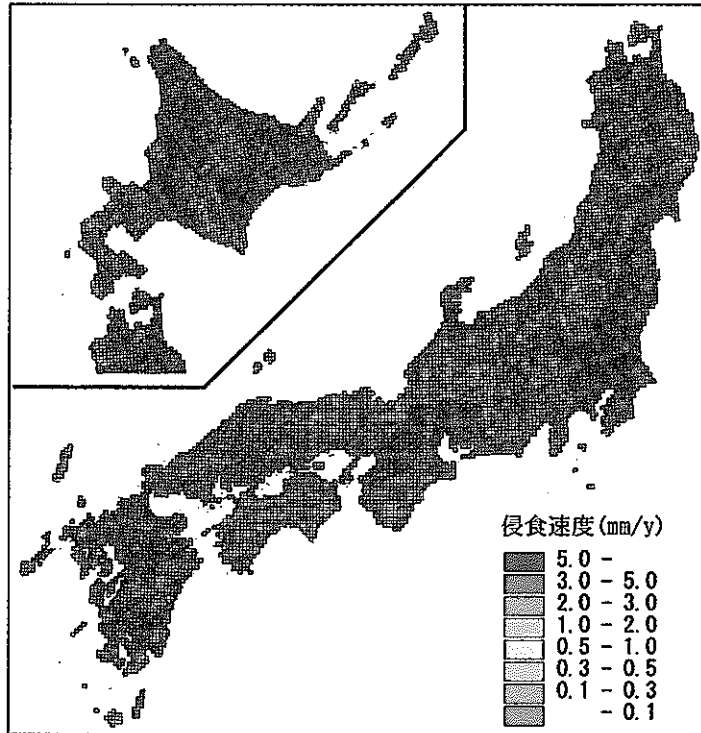
・流域の最上流部に位置

貯水容量が200万m³以上で堆砂量が25%以下

・ダム建築後10年以上が経過

・堆砂量の累積曲線が10年以上単調に増加する期間

・ダム流域における侵食速度を算出(空隙率30%と仮定)



2. 侵食速度を決定する因子[地質条件、降水条件、起伏条件(高度分散量)]の検討

①地質条件:縮尺 1/100 万の数値地質図から地質単元を集約後、流域内の地質単元の占有率を集計

②降水条件:ダム流域付近の雨量観測データから平均年降水量、および、降水強度(日降水量が100mm/day 以上の日降水量があった日について、その値を観測期間で平均した値)を集計

③起伏条件:「数値地図50mメッシュ(標高)」から流域の平均的な基準高度分散量を算出

基準高度分散量:単位面積(1km²)あたりの標高値の標準偏差

3. 侵食速度と各因子との検討

①地質条件:広い面積の平均的な侵食速度を対象とする場合には、ロックコントロールの影響は小さい(図2)

②降水条件:降水量、降水強度とは相関無し(付図2)

→植生密度の高い地域では降水量などによる侵食速度への影響は小さい?

③起伏条件:ダム流域の基準高度分散量と侵食速度は正の相関

→基準高度分散量で区間平均をとり、侵食速度を平均化→高い相関性有り(図3)

$$\text{侵食速度} = 0.000044 \times \text{基準高度分散量}^{2.2} \quad (R=0.94)$$

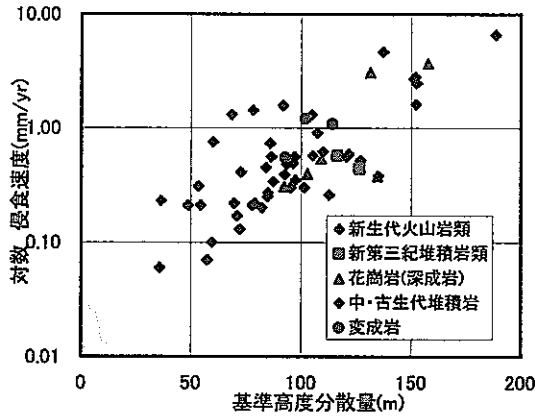


図2 地質単元毎の侵食速度と基準高度分散量の関係

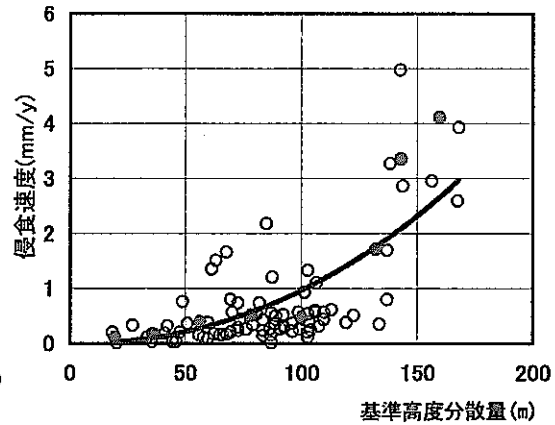


図3 基準高度分散量と侵食速度の関係
赤丸は侵食速度の区間平均値、青線はその近似曲線

4. 全国の基準高度分散量の算出[数値地図 50m メッシュ(標高)を使用]

※基準高度分散量(1km²)を6km×6km エリアで平均化

・侵食速度と基準高度分散量の関係式から全国の侵食速度分布を算出(図1)

結果と考察

侵食速度が、

- ・非常に大きい地域→中部山岳地域(中心部では2-3mm/y、あるいはそれ以上)
- ・比較的大きい地域→日高山脈、東北日本背弧、関東山地、西日本外帯の山地(中心部で1-2mm/y、あるいはそれ以上)
- ・比較的小さい地域→北海道北～中部、東北日本前弧、中国山地(中心部でも0.3-0.5mm/y以下)

個々の山地を1つの隆起地塊と見なし、山地毎に基準高度分散量を算出(図4)

・中部日本を横切る糸魚川-静岡構造線の西側に沿って侵食速度の大きい地域が存在
(糸魚川-静岡構造線の西側は第四紀に最も隆起が大きかった地域)

・東北日本と西南日本では背弧側(内帯)と前弧側(外帯)での侵食速度の対称が明瞭
(東北日本背弧側は約350万年前以降に褶曲や逆断層による隆起が継続する地域、西南日本の準平原地形を残す内帯に対し、外帯側は中部山岳地域に次ぐ傾斜地であり、隆起速度が大きいとされる地域)

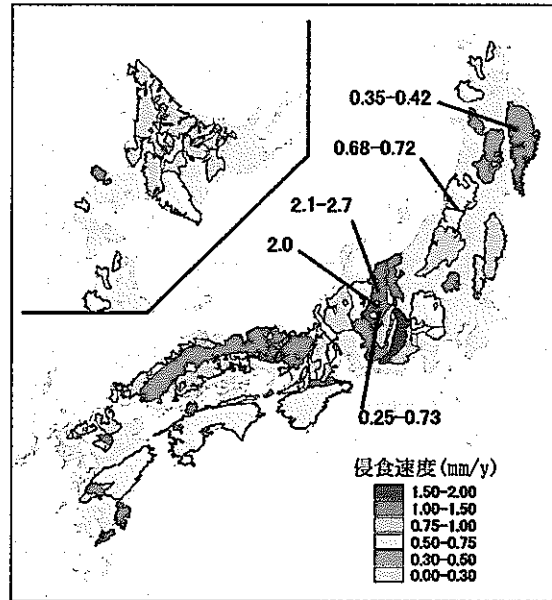
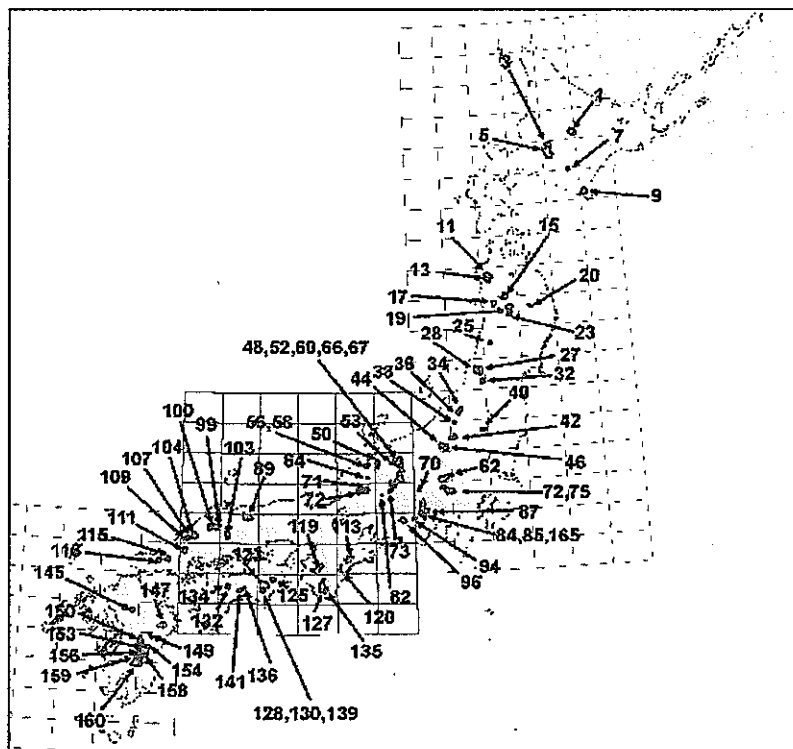


図4 基準高度分散量から算出した山地毎の平均侵食速度

図中の数字は扇状地や崖錐の体積等から求めた数千年～数万年間の平均的な侵食速度

→山地の侵食速度は第四紀の隆起量と相関する
→高度分散量から算出した侵食速度分布図は長期的な侵食速度を反映すると考えられる。



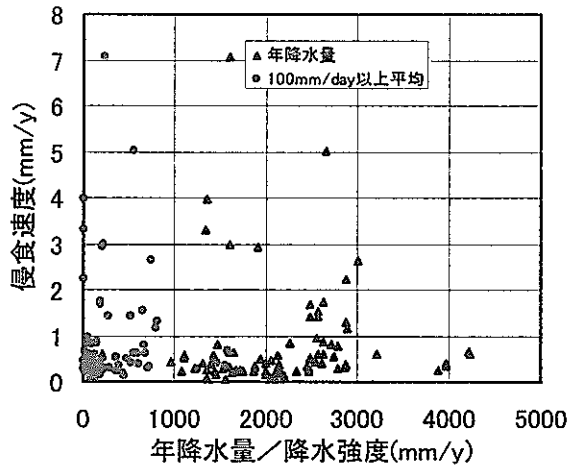
付図 1 データ使用ダム位置図、および堆砂量から算出した侵食速度

図中の番号は下表の番号に対応

対象ダムの選定基準

- ① 捕捉率が 100% とされる貯水量 200 万 m³ 以上
- ② 堆砂率 25% 以下
- ③ 建築後 10 年以上
- ④ 流域の最上流部に位置
- ⑤ 堆砂量の累積曲線が 10 年以上単調に増加する期間

| 番号 | ダム名 | 集水面積 (km ²) | 侵食速度 mm/y | 番号 | ダム名 | 集水面積 (km ²) | 侵食速度 mm/y | 番号 | ダム名 | 集水面積 (km ²) | 侵食速度 mm/y |
|----|-------|-------------------------|-----------|-----|-------|-------------------------|-----------|-----|------|-------------------------|-----------|
| 1 | 富村 | 165.7 | 81.0 | 58 | 犀川 | 56.0 | 129.0 | 115 | 佐波川 | 80.0 | 85.7 |
| 3 | 芦別 | 122.6 | 73.0 | 60 | 奈川渡 | 371.6 | 142.0 | 116 | 佐々波川 | 57.0 | 91.9 |
| 5 | 大夕張 | 430.2 | 64.0 | 62 | 下久保 | 321.4 | 100.0 | 119 | 二川 | 86.0 | 228.4 |
| 7 | 奥新冠 | 52.5 | 139.0 | 63 | 大白川 | 19.7 | 142.0 | 120 | 坂本 | 127.0 | 74.4 |
| 9 | 幌満川第三 | 140.5 | 98.0 | 66 | 高根第一 | 124.0 | 83.0 | 123 | 松尾川 | 102.0 | 25.4 |
| 11 | 目屋 | 168.7 | 85.0 | 67 | 秋神 | 82.5 | 78.0 | 125 | 正木 | 102.0 | 93.9 |
| 13 | 素波里 | 98.2 | 95.0 | 70 | 高遠 | 65.6 | 91.0 | 127 | 殿山 | 88.0 | 290.7 |
| 15 | 森吉 | 124.9 | 58.0 | 71 | 九頭竜 | 177.9 | 93.0 | 128 | 名頃 | 118.0 | 21.2 |
| 17 | 萩形 | 85.7 | 95.0 | 72 | 広瀬 | 74.7 | 109.0 | 130 | 小見野々 | 121.0 | 267.5 |
| 19 | 夏瀬 | 237.0 | 76.0 | 73 | 三浦 | 67.4 | 75.0 | 132 | 長沢 | 115.0 | 68.5 |
| 20 | 外山 | 31.6 | 37.0 | 75 | 小河内 | 255.6 | 113.0 | 134 | 大森川 | 98.0 | 20.9 |
| 23 | 神代 | 39.2 | 114.0 | 77 | 笹生川 | 69.4 | 98.0 | 135 | 七川 | 82.0 | 100.8 |
| 25 | 高坂 | 67.8 | 82.0 | 82 | 馬瀬川第二 | 13.1 | 81.0 | 136 | 穴内川 | 77.0 | 51.0 |
| 27 | 八久和 | 141.5 | 106.0 | 84 | 畑薙第一 | 320.2 | 169.0 | 139 | 魚梁瀬 | 111.0 | 98.2 |
| 28 | 荒沢 | 161.7 | 94.0 | 85 | 雨畑 | 98.1 | 159.0 | 141 | 鏡 | 92.0 | 80.2 |
| 32 | 木地山 | 62.1 | 102.0 | 87 | 柿元 | 33.1 | 118.0 | 145 | 日向神 | 73.0 | 82.8 |
| 34 | 早出川 | 82.7 | 112.0 | 89 | 湯原 | 252.4 | 52.0 | 147 | 北川 | 61.0 | 180.1 |
| 36 | 笠堀 | 69.0 | 114.0 | 90 | 畑薙第二 | 10.8 | 153.0 | 149 | 諸塚 | 99.0 | 40.3 |
| 38 | 黒又川第一 | 20.6 | 96.0 | 94 | 水窪 | 56.0 | 148.0 | 150 | 上椎葉 | 111.0 | 208.4 |
| 40 | 深山 | 53.1 | 111.0 | 96 | 新豊根 | 134.5 | 66.0 | 153 | 一ツ瀬 | 108.0 | 410.5 |
| 42 | 矢木沢 | 161.1 | 112.0 | 99 | 来島 | 138.4 | 51.0 | 154 | 渡川 | 85.0 | 79.1 |
| 44 | 二居 | 107.0 | 116.0 | 100 | 高暮 | 156.1 | 60.0 | 156 | 綾北 | 95.0 | 147.1 |
| 46 | 相俣 | 110.8 | 111.0 | 103 | 帝釈 | 115.7 | 38.0 | 158 | 立花 | 106.0 | 40.4 |
| 48 | 黒部 | 178.2 | 143.0 | 104 | 八戸 | 162.7 | 72.0 | 159 | 綾南 | 71.0 | 85.3 |
| 50 | 室牧 | 83.9 | 98.0 | 107 | 周布川第一 | 86.8 | 63.0 | 160 | 岩瀬 | 45.0 | 354.9 |
| 52 | 高瀬 | 128.5 | 170.0 | 109 | 木都賀 | 61.2 | 52.0 | 165 | 井川 | 147.0 | 125.9 |
| 53 | 有峰 | 46.1 | 85.0 | 111 | 立岩 | 127.3 | 73.0 | | | | |
| 56 | 刀利 | 44.9 | 110.0 | 113 | 三瀬谷 | 188.3 | 101.0 | | | | |

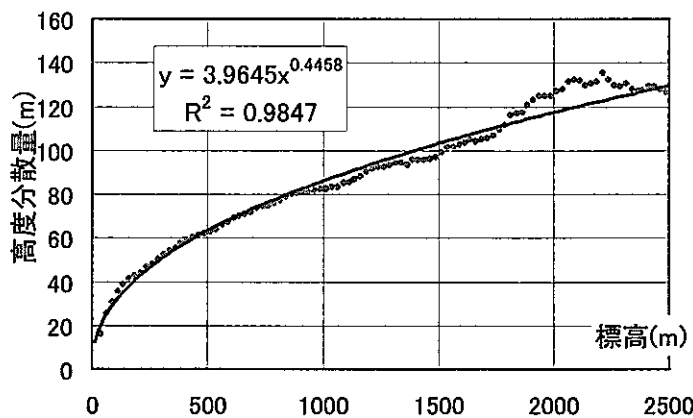


付図2 降水量・降水強度と侵食速度

降水量・降水強度と侵食速度の関係を、82箇所のダムについて示した。図は降水・降量・降水強度と侵食速度の間にはほとんど相関がみられないことを示している。

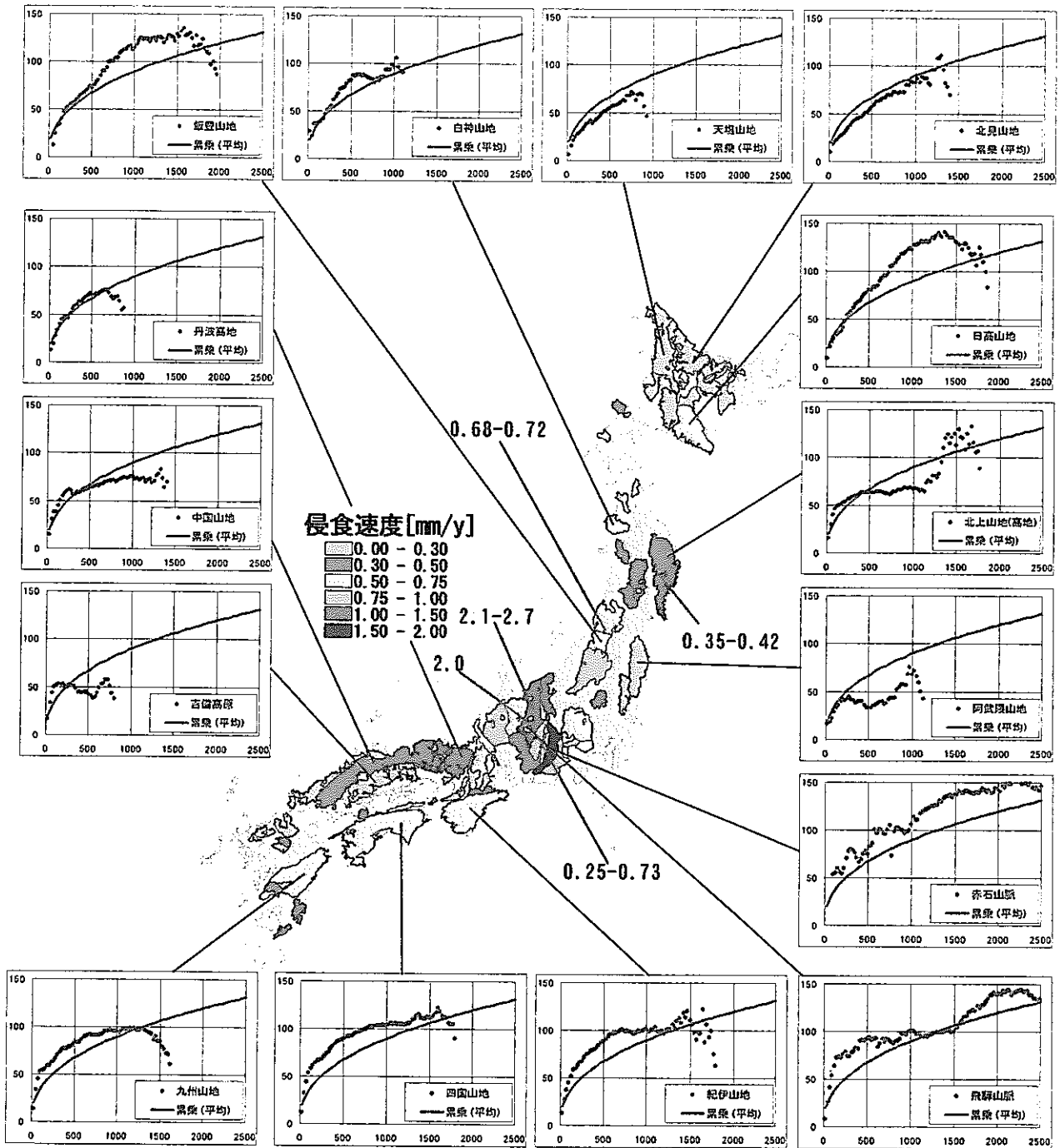
世界的な観点で見ると、侵食速度は降水量と植生密度とによって変化する。降水量が非常に少ない所では植生が無く侵食抵抗力が小さいが、表面流も発生しにくく侵食速度は小さい。一方、降水量の多い所では植生が繁茂して侵食抵抗力が大きく表面流が発生しにくく、降水量の割には侵食速度は大きくなる。日本列島の山地のように植生密度が高い地域では、降水量による侵食速度の差は現れにくいと想定される。

また、個々の降雨イベントによる短期間の侵食速度は、降雨強度に依存することが知られているが、数十年間の平均値のような長期的な侵食速度は、降雨量や降雨強度とは相関が低いと想定される。



付図3 平均標高と基準高度分散量の関係

「数値地図 50m メッシュ (標高) I~III」を用いて日本全域の 1km² メッシュの基準高度分散量と平均標高を算出し、平均標高を 25m 毎の区間に区切った。次に各標高区間に含まれる基準高度分量を平均しプロットした。図から平均標高と基準高度分散量間には高い線形性が存在し、平均標高に対し基準高度分散量を累乗近似することができる。この近似式は日本における地形の一般的な傾向を表している。



付図4 基準高度分散量から算出した山地毎の平均侵食速度
および、山地毎の平均標高-基準高度分散量

※図中の赤数字は扇状地や崖錐の体積等から求めた数千年～数万年間の平均的な侵食速度

※グラフの縦軸は基準高度分散量(m)、横軸は平均標高(m)を表す。図中の緑の曲線は山地の平均的な地形を表す。

プロットされた点は付図3と同様に標高区間 25m 毎に集計し、基準高度分散量の平均値をプロットした。

基準高度分散量が山地の平均曲線よりも上方にプロットされた山地は、平均的な山地よりも起伏に富むことを表す。

赤でプロットされた点は山地平均値よりも起伏に富む山地を、青の点は起伏が緩やかな山地を示す。