

# 地質工學

第 22 輯

**NGP** 日本物理探鑛株式会社



## 季刊誌 地質工学 発刊の辞

我が日本物理探鉱株式会社は本年 12 月（1952 年）を以て創立 10 周年を迎えることになった。就いてはその記念事業の一つとして季刊誌地質工学を発刊することにした。これは我々科学技術の仕事に携わるものとしては最も相応しいことだと思ったからである。

記事の内容は物理探鉱 (Geophysical Prospecting) と土質力学 (Soil Mechanics) を主体とするが、地質工学 (Geotechnics) という土木建築に関する応用地質という立場から地下水または水文学 (Hydrology)、建造物の基礎工、隧道、堰堤の施工法等も含めたい。また応用地質学という見地からいえば勿論、温泉、鉱床地質等に関する諸問題も含んでくることになる。

兎に角本誌の内容は我々の事業の定期的な集積の里程標としたい考えであるが、一面地質工学に興味と関心を持たれる諸氏に取って有意義な存在となるであろうことを確信する。

同好の士の投稿は大いに歓迎することになっているから別項投稿規定によって活発な合流を期待する。知識と経験の交換によって斯界の進歩と発達に就いて大いなる寄与をなすであろうことを我等はここに切に念願する次第である。

1952 年 10 月

渡 邊 貫

【創刊号より転載】

三軍も帥を奪うべきなり。匹夫も志を奪うべからざるなり（子罕篇）

（多くの兵に守られている大将でも、負けてしまうことがある。しかし、志というものは、誰一人として変えたり奪ったりすることはできない。）

目標へ突き進む「志」を持つことが大事であるという孔子の言葉。



# 地質工学 第22輯

## 目次

- 地質工学の理念からみた南海トラフ地震臨時情報の現状と課題  
関西大学社会安全学部 教授 林 能成 ……1
- 精密水準測量によって検出された御嶽山東山麓の上下変動（2016-2025年）  
日本大学文理学部地球科学科 村瀬 雅之 ……10
- 1944年東南海地震での軍需工場における被害の背景  
名古屋大学減災連携研究センター 武村 雅之 ……18
- 露天掘り鉱山で操業する各種重機の死角エリア測定システムの開発  
および死角減縮法について—運転手の死角による認知視界の向上にむけて—  
日本物理探鉱株式会社 関東支店技術第二部 加藤 弘太 ……37
- 駿河湾の地震活動について  
—2022年1月から2023年2月までに決められた震源の特徴—  
日本物理探鉱株式会社 技術本部 井戸口 愛菜  
日本物理探鉱株式会社 関東支店 望月 琢馬 ……43
- 箱根火山周辺地域における地下水の水質特性について  
日本物理探鉱株式会社 関東支店 内藤 遥 ……55
- 模擬地震波作成業務の紹介  
日本物理探鉱株式会社 企画本部 岡嶋 眞一 ……66



## 地質工学の理念からみた南海トラフ地震臨時情報の現状と課題

林 能成<sup>1)</sup>

1) 関西大学社会安全学部 教授

### 1. はじめに

本誌のタイトルにもなっている「地質工学」という学問領域を提唱し、体系化したのは地質学出身の渡邊貫である(渡邊, 1936)。地質工学は地質学と土木工学の境界領域とされるが、この領域には応用地質学、地盤工学、土木地質学といった別の名称もつけられていて、それぞれの差異や定義はあいまいである(小野田, 2018)。

渡邊による大著「地質工学」の緒言をあらためて読み直していくと、地質学との関連は必要不可欠であるが、土木工学との関係は必ずしも必須ではなく、著者が土木技術者として仕事をする中で遭遇した地質学と関係した諸課題とその解決策のアイデアを地質工学と命名していることに気がつく。渡邊は「もう土木地質学とか何とか云った小さな城郭を守っている時期ではない」とまで言い、地質学を現実社会で遭遇する多様な問題へと適用する「地質工学」という新しい分野を提案したのだと私には思われた。

地質学は地球物理学などとの融合が進み、1990年代以降には地球惑星科学という枠組みの一部となった。今では大学の学科名に地質の名前を残すところは皆無である。そこで、本論文では、地質工学の理念を拡張して、地球惑星科学の知見を活用して防災情報の社会実装にもなって生じた課題へと適用することを試みる。具体的には2017年から運用がはじまっている「南海トラフ地震臨時情報」の課題の多くは、地球惑星科学の一部である地震学の知見が不足していることに起因していることを明らかにする。

### 2. 南海トラフ地震臨時情報の前史

駿河湾から紀伊半島沖を経て四国沖にかけての南海トラフ沿いの領域では、図1に示すように巨大地震が繰り返し発生していたことが、古文書の収集分析から明らかにされている(今村, 1933)。この論文が書かれた時には、地震の大きさを測る「マグニチュード」のスケールはまだなく、プレートの沈み込みによる巨大地震発生のメカニズムもわかっていない時代である。今村明恒は千年を超える長い時間スケールの不完全な記録の中から、優れた洞察力で「地震の繰り返し発生」を見出した。

今村は、この論文の中で南海トラフで巨大地震が近い将来起こる危険性についても言及した。そして10年あまりが経過した時に、1944年東南海地震と1946年南海地震が続けて発生した。残念ながら今村の防災提言はいかされず、静岡県西部から高知県までの太平洋沿岸の地域において、地震動と津波によって大きな被害をもたらされた。

1970年代になると、同じ場所での地震の繰り返しがプレートテクトニクスによって説明できるようになり、測量や地震観測の記録の蓄積もすすんだ。その結果、1944年東南海地震はその1つ前の1854年安政東海地震よりも小さな地震であり、それは駿河湾の部分が割れ残っているためと考えられるようになった(安藤, 1973)(石橋, 1976)。

割れ残っている部分にはひずみが蓄積していると考えられるので、駿河湾で地震の発生が逼迫している可能性がある。推定された割れ残り範囲の大きさから、想定される地震が発生した場合にはマグニチュード8クラスの巨大地震となる。地震が起こる前から「東海地震」という名称がつけられ、国は特別な法律をつくって地震対策を進めることになった。

新しい法律、「大規模地震対策特別措置法」は1978年に施行され、地球科学的な連続観測と専門家集団による判定会を組み合わせた地震予知の体制が構築された。そして地震が予知された場合には、内閣総理大臣から「警戒宣言」が出され、東海道新幹線の運休、東名高速の通行止め、大規模小売店の閉店、指定地域内の学校の休校といった厳重な対応がとられることとなった。地震予知を信頼して、社会活動はほぼ停止して、息をひそめて地震の発生を待つような対応へと突き進んだ。

しかし、警戒宣言が出され、しばらく時間が経過しても地震が起きない、いわゆる「空振り」になることも当然ありえる。だが、その状況は想定されず、警戒宣言を解除する手順は決められなかった。今からみれば、地震予知の実現を楽観視していたとも、空振りの社会的コストを安易に考えていたとも評価できる。

1990年頃には、科学的な地震予知は極めて困難であるという現実と、上記の法律で定められた厳格な対応とのギャップが顕在化していたが、法律

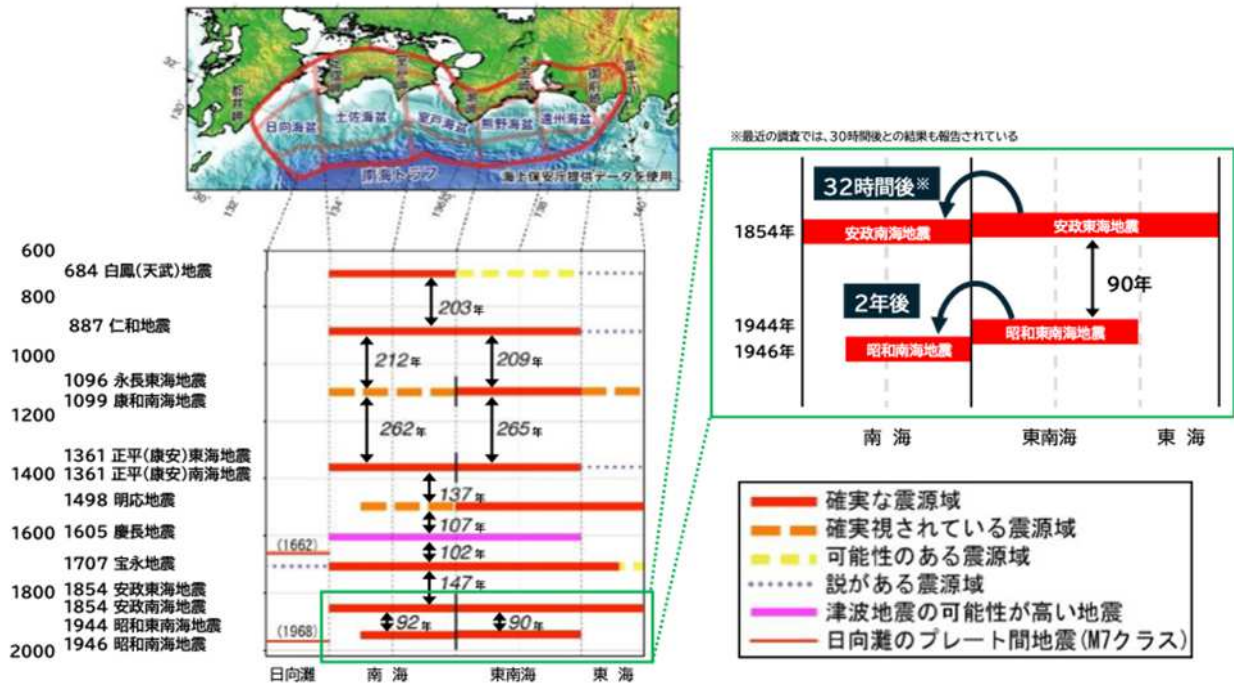


図1 南海トラフ沿いで過去に起きた大規模地震の震源域の時空間分布 [内閣府(2025)]

が大きく変わることはなかった。一度決めたことを簡単に変更すべきでない行政の仕組みと、理論や仮説は研究が進めば短時間で大きく変わることもある科学研究の歩調を揃えることは難しい。

### 3. 東海地震予知から南海トラフ地震臨時情報へ

2011年東日本大震災で発生した未曾有の被害によって、日本の地震対策は大きな見直しを迫られることになった。特に東北地方の太平洋沖にある日本海溝でマグニチュード9という超巨大地震が起きることを想定できなかったことが問題になり、全国各地で地震防災対策のための想定地震の見直しが進められた。

南海トラフ地震もその1つである。南海トラフでは、歴史地震の被害分布やプレート沈み込みの状況から、これまではM8.6程度が最大級の地震と考えられていた。図1に示された地震の中では、南海トラフ全領域が1つの地震として動いたと考えられる1707年宝永地震がその代表例である。

マグニチュードを大きくすることは、想定震源域を大きくすることと同義である。南海トラフでは、内陸側の深い領域、海溝軸に近い領域、西側の日向灘の領域の3方向へ少々強引な理由をつけて拡大させた(図2)。これによって、南海トラフで起こる最大地震はマグニチュード9となった。

大規模地震対策特別措置法による東海地震の地震予知も見直しの対象となった。2013年に内閣府に「南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会」が設置され、最終報告書で「現在

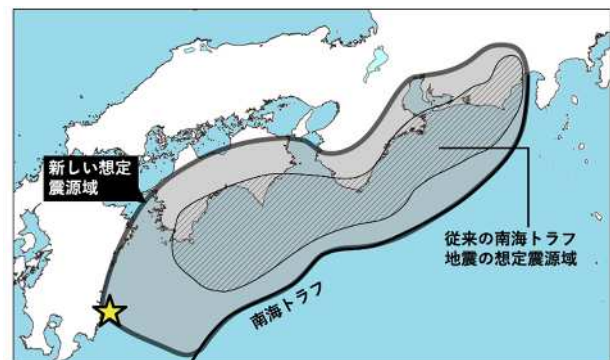


図2 南海トラフ地震の想定震源域の変更

の科学的知見からは確度が高い地震の予測は困難」という結論が出され、ようやく実用的な地震予知は現実的には不可能なことが公式見解となった(南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会, 2013)。これによって、南海トラフの一部である駿河湾だけを対象とした東海地震予知の体制を終了させ、南海トラフ全体を対象とする新しい地震情報体系の模索がはじまった。

同調査部会は2016年に再設置されて検討を重ね、2017年11月から東海地震予知の仕組みは停止された。そして「南海トラフ地震に関連する情報」が新しく発表されることとなった。さらに1年半後の2019年5月に「南海トラフ地震臨時情報」として防災対応のガイドラインを伴う、ひとまずの完成形となった。

南海トラフ地震臨時情報の最大の目的は、東海地震、南海地震という2つの地震にわかれて南海トラフで地震が発生した場合に、2つめの地震への



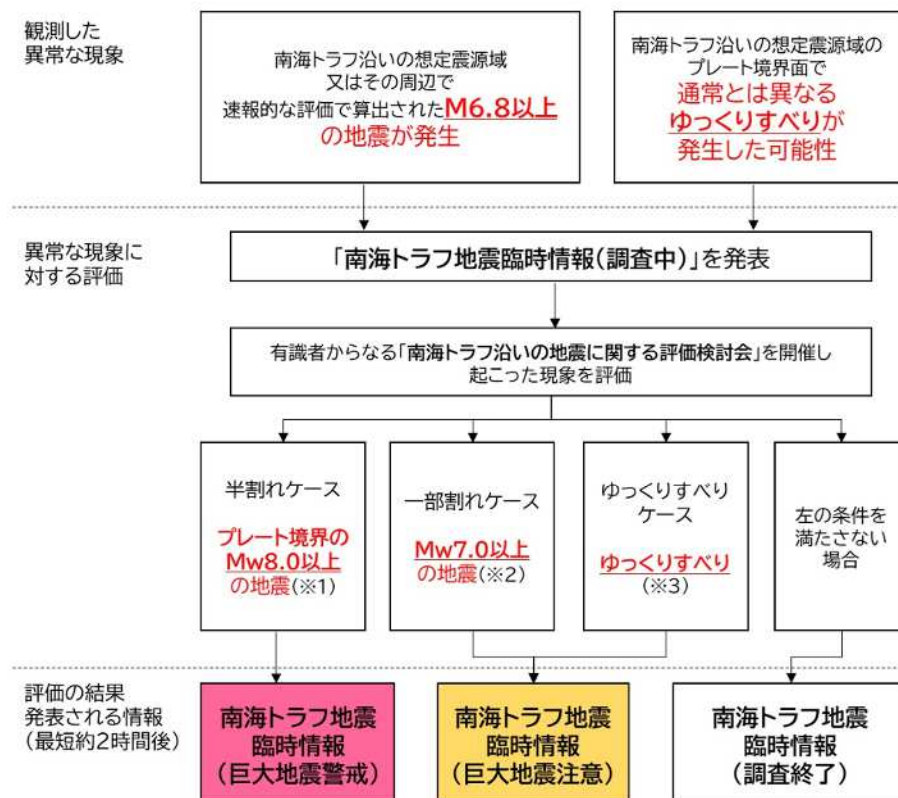
備えを促すことである。これはマグニチュード8をこえる地震が発生した場合に、さらに続けてマグニチュード8クラスの地震が起こる可能性があることを伝えるものとなる。1854年の南海トラフ地震は東の東海地震が先に起き、その翌日に西の南海地震が起きている。このような地震発生様式であった場合には、防災につながる「役立つ情報」となるかもしれない。

ただ、2つの地震の間の時間がもっと長い場合もありうる。1944年東南海地震の際には、次の地震は約2年後の1946年南海地震であった。このように2つの地震の間隔が長い場合に、社会活動の規制を長く続けることになれば、地震に事前に備えることで災害を減らせる効果を上まわるような社会的損失を出しかねない。今村(1944)は、1944年東南海地震の直後に西側の南海地震がまだ起きていないことに気がつき、警鐘を鳴らしたが、社会活動を規制するようなことまでは主張していない。規制の終了時ははっきりとは決められない、このような条件下で実施可能な防災対策は、結局のところ「日頃からの地震への備え」を徹底する以外にない。

また、別の状況も、臨時情報発表の条件に追加されている。2011年東日本大震災を発生させたマグニチュード9クラスの地震の2日前に、その震源域の内側でM7.3の地震が発生して、東北地方の広い範囲で震度4の揺れを観測していた。これと同じ状況の際に備えを促進させるため、M7クラスの地震が想定震源域の内部で起きた場合にも情報が出されることとなった。

東海地震の予知は、スロースリップと呼ばれるプレート境界のゆっくりとしたすべりを検知することで実現することをめざしていた。南海トラフの地震でも、地震発生直前にスロースリップが起きる可能性はあるので、これまで同様の観測を継続してスロースリップが検知された場合にも臨時情報を出すこととなった。

図3は南海トラフ地震臨時情報の体系を整理したものである。本命であるマグニチュード8クラスの地震のあとに出されるものを「巨大地震警戒」、それ以外の2つを「巨大地震注意」として区別している。この巨大地震警戒と巨大地震注意は、ガイドラインにおいて求められる防災対応が区別されている。



※1 南海トラフ沿いの想定震源域内のプレート境界においてMw8.0以上の地震が発生した場合(半割れケース)

※2 南海トラフ沿いの想定震源域内のプレート境界においてMw7.0以上、Mw8.0未満の地震が発生した場合、または南海トラフ沿いの想定震源域内のプレート境界以外や想定震源域の海溝軸外側50km程度までの範囲でMw7.0以上の地震が発生した場合(一部割れケース)

※3 ひずみ計等で有意な変化として捉えられる、短い期間にプレート境界の固着状態が明らかに変化しているような通常とは異なるゆっくりすべりが観測された場合(ゆっくりすべりケース)

図3 南海トラフ地震臨時情報発表までのフロー[内閣府(2025)]

#### 4. 南海トラフ地震臨時情報の防災対応

南海トラフ地震臨時情報の防災対応は「南海トラフ地震臨時情報防災対応ガイドライン」(内閣府, 2025)によって定められている(図4)。臨時情報の発表は観測にもとづいて気象庁が発表し、防災対応は内閣府が定めて実施にも責任をもつという役割分担がなされた。

ガイドラインでは、巨大地震警戒, 巨大地震注意いずれも「日頃からの地震への備えの再確認」が基本で、事前避難が求められるのは限られた条件の場合のみである。この理由は臨時情報が極めて不確実性の高い情報であり、続けて大きな地震が起きることは滅多にないことが前提だからである。

過去の地震活動からの統計的分析によれば、臨時情報が発表されても1週間以内に大地震が発生することは、巨大地震警戒の条件で10%程度、巨大地震注意のうちM7クラスの地震による条件で1%程度ときわめてまれなことである。また、東海地震予知の警戒宣言時の対応行動が厳しすぎて、社会活動が完全に停止するようなものになってしまったことへの反省ととることもできる。

さらにガイドラインでは、防災対応をとる期間が1週間、2週間と具体的に定められており、時間の経過で解除する手順も定められている。この1週間という期間は地震学的な知見では定めることはできず、社会の受忍限度という観点から決められた。臨時情報発表にもなるとられる防災対応の中には、社会活動を規制するものが含まれているので、その不利益を社会が許容できるか否かという視点が重視された。これは東海地震予知に比べて大きな進歩であるといえる。科学的知見を社会の中で活かすという理念からも、社会の受忍限度を考慮して決めたことによって科学と防災の関係のあるべき姿に近づいたといえる。

以上のように、東海地震予知の仕組みが内在していた「情報の実力に見合わない厳格な防災対応による社会的損失」と「空振りを想定していない防災対応の解除手順の未策定」という2つの問題点は、南海トラフ地震臨時情報では大きく改善した。その一方で、とるべき防災対応の筆頭にかかげられている「日頃からの地震への備えの再確認」というあいまいなフレーズでは、市民がとるべき防災

異常な現象	プレート境界のMw8.0以上の地震※1 (半割れケース)	Mw7.0以上の地震※2 (一部割れケース)	ゆっくりすべり※3 (ゆっくりすべりケース)
発生直後 「ゆっくりすべりケース」は検討が必要と認められた場合	個々の状況に応じた 防災対応を準備・開始	個々の状況に応じた 防災対応を準備・開始	今後の情報に注意
(最短) 2時間程度	巨大地震警戒対応 <ul style="list-style-type: none"> <li>【日頃からの地震への備えの再確認】</li> <li>すぐに逃げられる態勢の維持や非常持出品の常時携帯など【特別な備え】</li> <li>津波到達が早く、後発地震発生後の避難では間に合わないおそれのある住民は【事前避難】、それ以外の者は避難の準備を整え、個々の状況等に依りて自主的に避難</li> </ul> など	巨大地震注意対応 <ul style="list-style-type: none"> <li>【日頃からの地震への備えの再確認】</li> <li>すぐに逃げられる態勢の維持や非常持出品の常時携帯など【特別な備え】</li> </ul> など (必要に応じて避難を自主的に実施)	巨大地震注意対応 <ul style="list-style-type: none"> <li>【日頃からの地震への備えの再確認】</li> <li>すぐに逃げられる態勢の維持や非常持出品の常時携帯など【特別な備え】</li> </ul> など
1週間	巨大地震注意対応 <ul style="list-style-type: none"> <li>【日頃からの地震への備えの再確認】</li> <li>すぐに逃げられる態勢の維持や非常持出品の常時携帯など【特別な備え】</li> </ul> など (必要に応じて避難を自主的に実施)	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら通常の生活を行う</li> </ul>	
2週間※4  ゆっくりすべりの変化が収まってから、変化していた期間とおおむね同程度の期間が経過するまで	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら通常の生活を行う</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながら通常の生活を行う</li> </ul>

※1 南海トラフの想定震源域内のプレート境界においてMw8.0以上の地震が発生した場合  
 ※2 南海トラフの想定震源域内のプレート境界においてMw7.0以上Mw8.0未満の地震が発生した場合、または南海トラフの想定震源域内のプレート境界以外や想定震源域の海溝軸外側50km程度までの範囲でMw7.0以上の地震が発生した場合  
 ※3 南海トラフ沿いの想定震源域のプレート境界面できずみ計等で有意な変化として捉えられる、短い期間にプレート境界の固着状態が明らかに変化しているような通常とは異なるゆっくりすべりが観測された場合  
 ※4 2週間とは、巨大地震警戒対応期間(1週間) + 巨大地震注意対応期間(1週間)  
 上表内の対応は標準を示したものであり、個々の状況に応じて変わるものである

図4 住民、事業者の防災対応の流れ[内閣府(2025)]

対応がはっきりしないという新たな問題も指摘される状況となった。

20世紀後半以降の日本では、地震災害で命をおとすケースの多くは、耐震性能が不足する建物の倒壊、建物内における家具の転倒などによる下敷き、そして津波からの逃げ遅れによるものである。これらへの備えを十分にすることが「日頃からの地震への備え」であることは、ガイドラインを策定した内閣府の担当者や防災の研究者にはなにかば常識であったであろう。しかし、地震への日頃からの備えとして、家屋の耐震化、家具の固定、津波避難が不要な高台移転などをまっさきに思い浮かべる市民は決して多くはない（林・他, 2024）。

## 5. 南海トラフ地震臨時情報の発表にともない顕在化した課題

2024年8月8日16時42分に日向灘で気象庁マグニチュード7.1（モーメントマグニチュード7.0）の地震が発生した。地震の震央は図2の星印で示した位置で、想定震源域の見直しによって広がった領域の中であった。そのため、気象庁は同日17時に南海トラフ地震臨時情報（調査中）を、ついで19時15分に南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）を発表した。そして国（内閣府）からは巨大地震注意対応の「特別な注意の呼びかけ」が開始された。この一連の手順は図3、図4のように事前に示されていたとおりである。

我々はこの1年前にあたる2023年7月に臨時情報の認知度、防災行動の実施状況についてのインターネットによるアンケート調査（大谷・林, 2024）

を実施していたことから、臨時情報による特別な注意の呼びかけが終わったあとにも同じ質問によるインターネットアンケート調査を実施して認知度などの変化を調べた（大谷・林, 2025）。さらに、臨時情報発表によってもたらされた認知度や防災行動の変化が、そのまま維持されているのか、元に戻ってしまうのかを調べるため、2025年1月、2025年7月にも同様のアンケート調査を実施した。4回の調査の実施状況は表1の通りである。対象地域は、東京都、静岡県、愛知県、大阪府、広島県、徳島県、高知県、宮崎県の8都府県である。調査人数は男女5世代（20, 30, 40, 50, 60代）が同数になるように設定した。しかし、徳島県、高知県、宮崎県の20代については各回とも設定人数を集めることができなかつたため、不足分を同性他世代に割り振って調整している。

まず臨時情報の認知度についての結果をみる。質問は「南海トラフ沿いで巨大地震の発生する可能性が普段より相対的に高まった場合には、気象庁から『南海トラフ地震臨時情報』が発表されることになっています。この情報についてどの程度ご存知ですか。」というもので、回答の選択肢は「インターネットなどで確認し、よく知っている」「テレビ番組の解説などで、どのような情報か聞いたことがある」「耳にしたことはあるが、具体的にどのような情報かはわからない」「知らない」の4択である。

図5に4回の調査の8都府県合計の結果を示す。臨時情報を「よく知っている」と回答した人の割合は、15.1%→30.2%→24.1%→20.6%と推移しており、

表1 南海トラフ地震臨時情報の認知度等について実施したアンケート調査一覧表

	調査実施時期	分析対象都府県	分析人数	備考
1	2023年7月4日～7日	東京・静岡・愛知・大阪・広島・徳島・高知・宮崎	3200人 男女1600人ずつ 20代・30代・40代・50代・60代、男女40人ずつを目標	徳島県20代男31人、同30代男43人、同40代男42人、同50代男42人、同60代男42人 高知県20代男25人、同30代男44人、同40代男44人、同50代男44人、同60代男43人 宮崎県20代男27人、同30代男44人、同40代男43人、同50代男43人、同60代男43人
2	2024年8月20日～22日	東京・静岡・愛知・大阪・広島・徳島・高知・宮崎	3200人 男女1600人ずつ 20代・30代・40代・50代・60代、男女40人ずつを目標	8月8日の臨時情報発表直後 徳島県20代男16人、同30代男55人、同40代男49人、同20代女36人、同30代女44人 高知県20代男11人、同30代男49人、同40代男60人、同20代女27人、同30代女53人 宮崎県20代男11人、同30代男54人、同40代男55人、同20代女36人、同30代女44人
3	2025年1月27日～31日	東京・静岡・愛知・大阪・広島・徳島・高知・宮崎	3200人 男女1600人ずつ 20代・30代・40代・50代・60代、男女40人ずつを目標	徳島県20代男22人、同30代男58人 高知県20代男17人、同30代男59人、同40代男44人 宮崎県20代男26人、同30代男54人
4	2025年7月25日～30日	東京・静岡・愛知・大阪・広島・徳島・高知・宮崎	2401人 男1200人・女1201人 20代・30代・40代・50代・60代、男女30人ずつを目標	徳島県20代男12人、同30代男48人 高知県20代男13人、同30代男42人、同40代男35人、高知県60代女31人 宮崎県20代男11人、同30代男49人

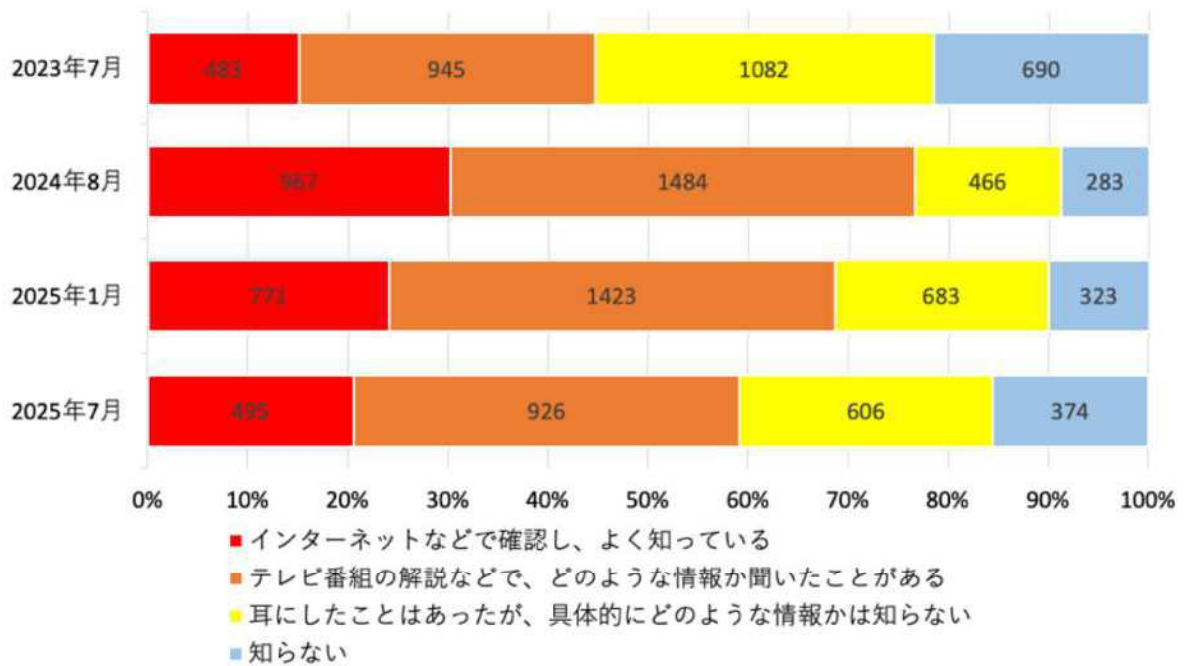


図5 南海トラフ地震臨時情報の認知度の経年変化

2024年8月の臨時情報発表によって急上昇していた。だが、その後は低下傾向が継続している。「テレビ番組の解説などで、どのような情報か聞いたことがある」と回答した人の割合も同じ傾向を示し、29.5%→46.4%→44.5%→38.6%と推移している。

認知度の経年変化の地域差を見るため、「よく知っている」「聞いたことがある」の上位2つの合計の変化を地域ごとに示したものが図6である。震源域の西側にあたり、南海トラフ地震の想定震源域が拡大された影響が大きかった徳島、高知、宮崎の3県は2023年の段階で他の5都府県よりも認知度が高かった。2024年の発表直後には認知度が急上昇し、大阪府で73%、それ以外の7都県ではほぼ80%に達した。臨時情報の認知度はすべての地域で一律に高まった。しかし、その後2回の調査で見られる認知度の低下には地域差があり、2023年の段階で認知度の高かった3県の低下傾向はゆるやかだが、他の5都府県は同じ割合で認知度の低下が進行している。

また、静岡県は東海地震対策を積極的に推進してきた地域であったが、東海地震から南海トラフ地震へと震源域が広がったことで地震対策先進県という特別感がなくなったことに起因するのか、南海トラフ地震臨時情報への関心度という観点では他の県と大差がなくなっていた。

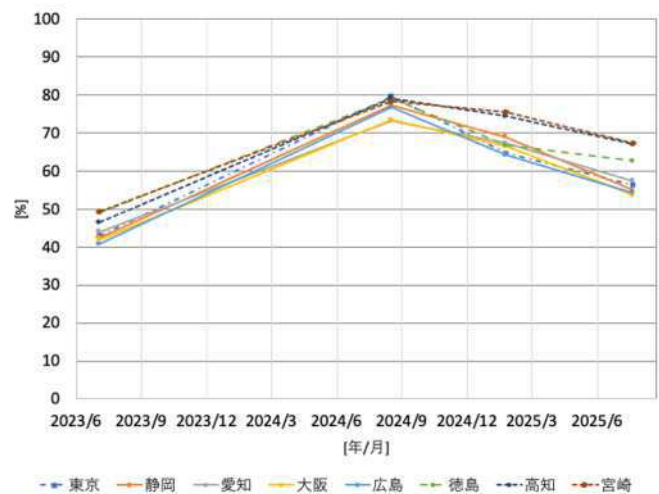


図6 都府県単位でみた南海トラフ地震臨時情報の認知度の経年変化

次に、臨時情報の最大の特徴である、不確実性の理解についての調査結果を図7に示す。調査内容は「南海トラフ地震臨時情報の内、『巨大地震注意』が発表された場合、注意期間である『1週間以内』に、大地震が起こる確率は何の程度だと思いますか?」という質問に対し、「100%近い」「80%」「50%」「25%」「10%」「1%」「0.1%」(2023年のみ選択肢にない)「地震が起きることはない」という主観確率の選択肢の中から1つを選ぶものである。

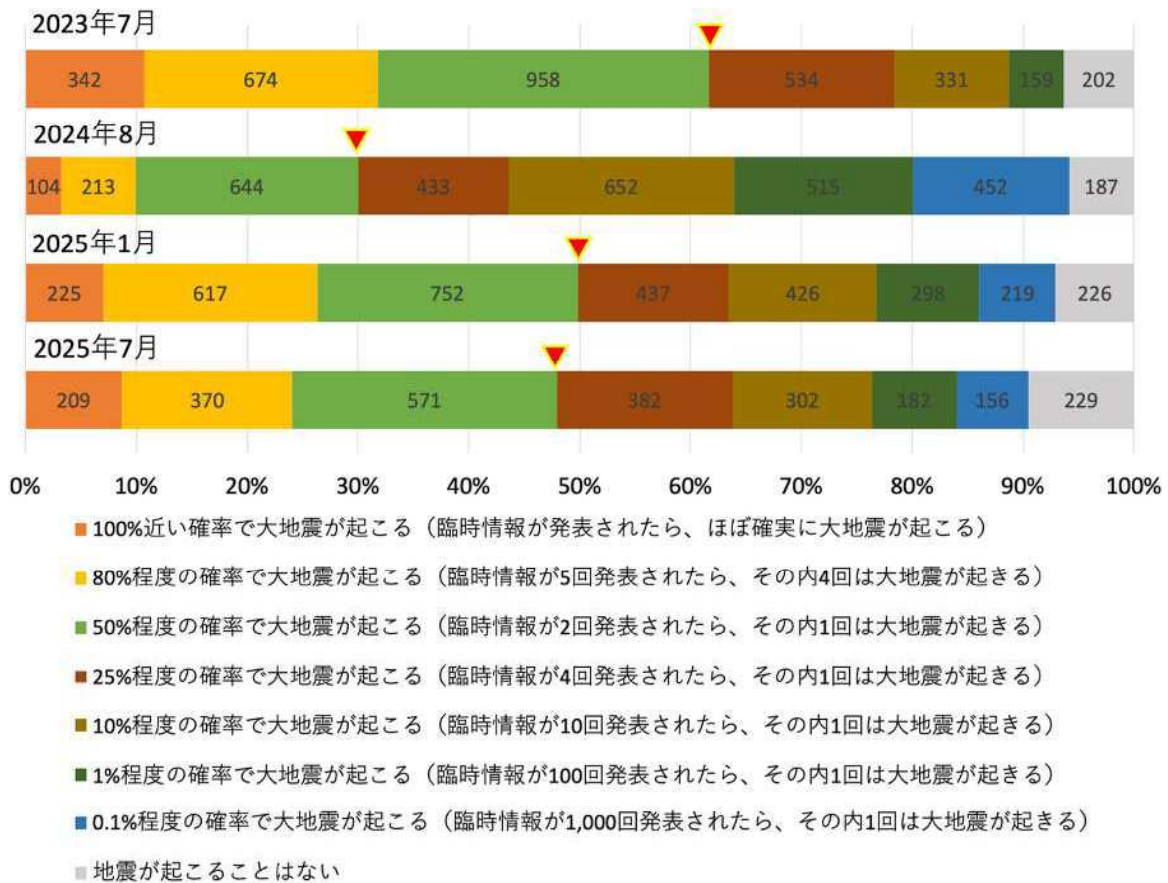


図7 南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）発表後1週間以内に後発地震が発生する主観確率の経年変化

前の章で紹介したように、臨時情報発表後1週間以内に続けてM8クラスの大地震が起きる確率は最大でも10%程度と見積もられている。南海トラフという場所に限定すれば、過去の活動履歴などから判断すると、条件によってはもう少し高い確率となる可能性はあるが50%を超えるようなことはない。いかなる場合でも、50%以上という見積もりは過大といえよう。そこで50%以上と見積もった人の割合に注目して図7を見ると、その割合は61.7%→30.0%→49.8%→47.9%と変化しており、臨時情報発表直後には臨時情報の不確実性を実感した人が非常に増えたが、わずか半年で元の状態に近いレベルまで戻っていた。

50%以上の的中率と答えた人の割合の推移を地域別に図にしたものが図8である。2023年7月の段階では、図6で示された臨時情報の認知度が高い徳島・高知・宮崎の3県で、高い確率で起こると考える人が多い傾向にある。これは、臨時情報とは切り離せない「不確実性の高さ」を理解することがいかに難しいかを示していると考えられる。臨時情報発表直後には、臨時情報の性質が繰り返し丁寧に解説されたことで、不確実性の理解は全都県で進んだ。その中で、日向灘の地震で地震被害を被った

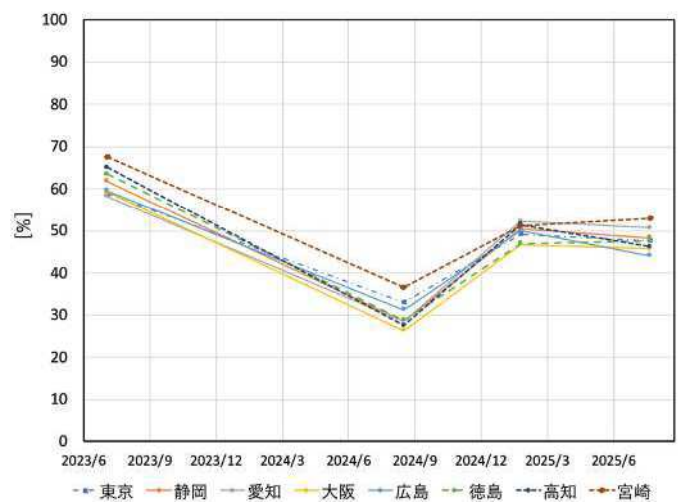


図8 都道府県単位で見た南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）発表後1週間以内に後発地震が発生する主観確率の経年変化

宮崎県だけはやや高めであった。その後1年が経過し、臨時情報の不確実性の高さは忘れられつつあり、全ての都府県において「ありえない確率」を想定する人が約50%という高率となり、宮崎県だけがやや高い状態が維持されている。

最後に臨時情報の発表をきっかけとして、防災対策が促進されたか否かを見る。図9は簡単にできる事前の準備から、人生に数度程度の転居や住居新築などの時に考慮すべき長い目でとりくむものまでを含んだ18種類の防災対策の実施状況について「はい」「いいえ」「わからない」の3択で回答したうち「はい」の割合をグラフにしたものである。18の項目はいずれも4回の調査で安定している、ほぼ同じ割合を示している。すなわち、臨時情報によって、何らかの防災対策が飛躍的に進むことはなかったと結論できる。

項目別に見ると、「5災害に備えて食料を準備している」「6災害に備えて飲料水を準備している」「8非常持ち出し袋を準備している」「10非常用のトイレを準備している」の4項目は、臨時情報直後に実施率が10%近く急上昇していることが目立つ。これらの対策はホームセンターなどに行き物資を購入しさえすれば、その瞬間に準備が整う応急的な対策である。特に、非常用トイレは寿命が長いいため、効果は長期間持続して低下することはないと考えられる。本調査結果でもその傾向が見られる。一方、食料や水の備蓄は消費期限があるため、時間の経過とともに低下していると考えられる。

災害の瞬間に命を守るための本質的な地震対策で、日頃からの地震対策として着実に推進していくべき項目は「1家具や食器棚が転倒しないように

している」「12災害ハザードを見て避難場所を確認している」「17将来、転居することがあれば耐震性能を重視する」「18将来、転居することがあれば津波の想定浸水域は避ける」の4つである。これらは臨時情報発表直後の上昇率はわずかであり、その後は低下が続いている。

特に将来の転居時の防災ビジョンを問う「家屋の耐震性の重視」と「津波浸水域を避ける」は長期的に見て低下する傾向にある。これらの対策は命を守るうえで大きな効果があるが、その重要性が強調される機会は多くはない。とくに臨時情報は応急的な地震対策への注目をあげることに特化した状態であり、その副作用として長期的で本質的な地震対策を伝える機会にはなっていない。

2024年8月に南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)が発表され、その直後には認知度、不確実性の理解、応急的な防災対策の促進が見られた。しかし、認知度と不確実性の理解は半年後、1年後と時間が経過するとともに低下し、臨時情報発表前とあまり変わらないレベルになっている。また、臨時情報の発表は、耐震補強や避難場所への円滑な避難といった本質的な対策の促進にはつながらず、応急的な対策の継続の効果も見られなかった。臨時情報の発表を真に防災につなげるためには、対策の継続性に大きな課題が残されていると考えられる。

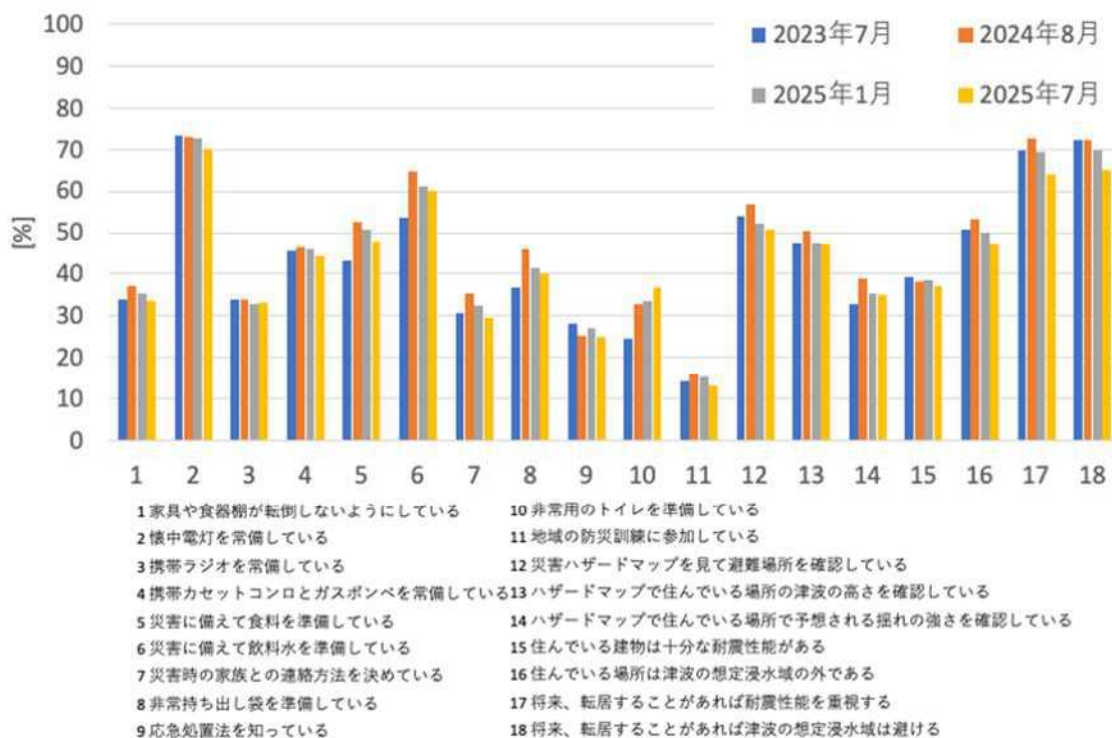


図9 地震対策についての実施状況の経年変化

## 6. まとめ

渡邊が「地質工学」の重要性をとらえ、昭和11年に書籍としてまとめて普及を進めた結果、昭和20年代後半から昭和40年代の大卒の土木技術者や地質技術者には、その影響を強く受けた人が多くいるという(大島, 2006)。地質学と土木工学の境界領域を職業とする専門家も増え、地質学という理学の知見を土木工学という実学に応用して社会に役立てるとともに、その現場の知見が科学の発展にもフィードバックされるようになった(渡邊, 1952)。この分野における科学者と技術者の交流はいまでは普通のこととなった。そして、地球惑星科学の知見は新しい道路、鉄道、ダムなどの建設の場面のみならず、完成して運用される中での維持管理や改良にも活用されており、渡邊が土木地質学を超えて地質工学を提唱した方向へと社会は動いてきた。

また、地質学と地球物理学が融合する過程においては、数に強い地球科学者の養成も進められ、環境科学などへの進出も進んだ(島津, 1969)。地球(惑星)科学の知見を活用する地質工学の応用領域は確実に広がり、構造物を作り維持管理する土木工学の領域に加え、高度な情報の活用とそれにもとづく防災の場面への進出も著しい。

だが、本論文で見てきた南海トラフ地震臨時情報では、制度設計の段階では科学的知見が活用されたが、その普及・定着の段階では不確実性の高さを定着させるための科学的知見の活用や科学者との連携は欠如していた。その結果、実際に発表された時には市民レベルで情報が正しく・適切に活用されたとは言い難い状況であった。

臨時情報の仕組みができたあとは、臨時情報のもっとも重要な性質であるが説明が難しい「不確実性の高さ」についての説明をほぼ省略して、わかりやすさを重視して「巨大地震警戒」の対応だけを丁寧に説明する姿勢が目立った(林, 2025)。そのため、行政機関、企業の一部では、「巨大地震警戒」への対応を決めて、それを万能薬のように「巨大地震注意」でも活用するポーズを示していたところもあった。だが現実に「巨大地震注意」が発表されたとき、震源地から離れた地方では、日向灘の地震の影響がまったくない状況は「想定外」であった。事前避難を推奨するなどの独自ルールを定めた組織は、住民に独自ルールの意義を説得することはなかった。安全サイドで設定したマニュアルの無謀さが露呈した場面であったと考えられる。

渡邊(1936)は「ただ地質学者と土木技術者が密接な交渉と正しい理解を持つようになればよいのである」と述べ、両者の連携の重要性を強調した。

本論文で扱った南海トラフ地震臨時情報における連携は、地震学者と行政担当者・一般市民など多方面に広がっている。地質学者と土木技術者は渡邊の時代も現在も「理系」の枠の中であり、少なくとも高校までは同じカリキュラムで学んできた同類であった。一方、行政担当者・一般市民の多くは、高校時代に数学を捨てた文系の人々であり、これまでの地質工学が成功してきた道筋と同じようにはいかない可能性が高い。1936年に書かれて多くの人に読まれた渡邊の著書「地質工学」に相当するような、地震学の入門と応用の実事例からなる体系的な書籍がまずは必要なかもしれない。

## 謝辞

本論文の執筆機会をいただいた日本物理探鑛(株)の内田篤貴氏に感謝します。かつてJR東海に勤務していた頃に、地震動早期検知警報システム(UrEDAS)の運用に従事したことが、地震学と防災情報の隙間を自らが研究することになるきっかけでした。UrEDASは極めて先進的であり、それゆえ東海道新幹線の運行と直結させるには不安定な状態だったことで、大変多くの経験を積むことになりました。本論文執筆中に亡くなられた、UrEDAS開発者である中村豊博士に哀悼の意を表し、あわせて感謝の意も表します。

## 参考文献

- 1) 安藤雅孝, 1973, 南海トラフ歴史上の巨大地震の断層モデル, 地震学会春季大会講演予稿集, 69.
- 2) 林能成, 2025, 不確実性の高い特殊な地震情報の現状と将来展望—南海トラフ地震臨時情報と北海道・三陸沖後発地震注意情報—, 月刊地球, 47巻, 6号, 299-311.
- 3) 林能成・高橋浩晃・元吉忠寛, 2024, 北海道における北海道・三陸沖後発地震注意情報の認識状況とその地域差, 社会安全学研究, 14巻, 107-116.
- 4) 今村明恒, 1933, 南海道沖大地震の謎, 地震 第1輯, 5巻, 607-626.
- 5) 今村明恒, 1944, 遠州沖大地震所感, 地震 第1輯, 16巻, 11号, 1-5.
- 6) 石橋克彦, 1976, 東海地方に予想される大地震の再検討—駿河湾大地震について, 地震学会秋季大会講演予稿集, 30-34.
- 7) 内閣府(防災担当), 南海トラフ地震臨時情報防災対応ガイドライン 令和7年8月改訂, 内閣府.
- 8) 南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会, 2013, 南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性について, 内閣府.
- 9) 小野田滋, 2018, 渡辺真とその足跡, 地質工学, 15巻, 1-14.
- 10) 大島洋志, 2006, 温故知新 渡辺真の地質工学再考, 応用地質, 47巻, 1号, 27-38.
- 11) 大谷竜・林能成, 2024, 南海トラフ地震臨時情報の認知度と防災対応に関する意識調査, 社会安全学研究, 14巻, 63-75.
- 12) 大谷竜・林能成, 2025, 2024年8月の南海トラフ地震臨時情報の効果—1年前のアンケート調査結果との比較—, 社会安全学研究, 15巻, 105-118.
- 13) 島津康男, 1969, 数に強い地球科学研究者を作るために, 地球科学, 23巻, 1号, 20-24.
- 14) 渡邊真, 1936, 地質工学, 古今書院.
- 15) 渡邊真, 1952, 巻頭言 地質工学の現在及び将来, 地質工学, 1巻, 1-4.

## 精密水準測量によって検出された御嶽山東山麓の上下変動 (2016–2025 年)

村瀬雅之<sup>1)</sup>

1) 日本大学文理学部地球科学科

## 1. はじめに

御嶽山は、長野県と岐阜県の県境に位置し、標高3,067mの剣ヶ峰を最高峰としている(図1c)。活火山としては国内で2番目に標高が高い山であり、有史以降では、1979年、1991年、2007年と2014年に水蒸気噴火が発生している(気象庁, 2014)。2014年の中規模噴火では、死者・行方不明者合わせて63名にのぼる人的被害をもたらした。

このような噴火災害を二度と繰り返さないために、火山噴火に至るメカニズムを理解することは重要である。火山は突然噴火するのではなく、噴火の前に長い年月をかけて地下にマグマを蓄積している(噴火準備過程)と考えられている。実際に、御嶽山では2006年より山体の隆起が精密水準測量(以下、水準測量と称す)によって捉えられていた(Murase et al., 2016)。山体の隆起はマグマの蓄積を反映していると考えられ、噴火準備過程の解明のための重要な基礎データとなる。しかし、その隆起量は、8年間で約10mmという大変に小さいものであった。

2014年噴火後、筆者を含む日本大学、名古屋大学、九州大学、京都大学、東京大学、気象庁からなる研究グループで、2014年噴火の収束過程および次の噴火準備過程の解明を目指し、東山麓において水準測量をほぼ1年の間隔で繰り返し実施してきた(村瀬・他, 2025)。検出を目指す噴火の収束過程や準備過程の上下変動は、大変小さいことが予想され、高精度の測量が求められる。そこで本稿では、2016年~2024年に実施した測量結果を用いて、(1) 水準測量の精度の評価をおこない、(2) 御嶽山東山麓の上下変動を明らかにする。

## 2. 御嶽山東山麓での水準測量

水準測量とは、ある時点における水準路線上の2つの水準点間の相対高度を測定する手法である。異なる時点に測定されたデータから、2つの水準点間の相対高度の差として上下変動量を得る。水準測量では、徒歩(2~4km/日)で実施するため時間分解能は低い。水準測量で得られる上下変動量の精度は、GNSS測量よりも高い(精度については

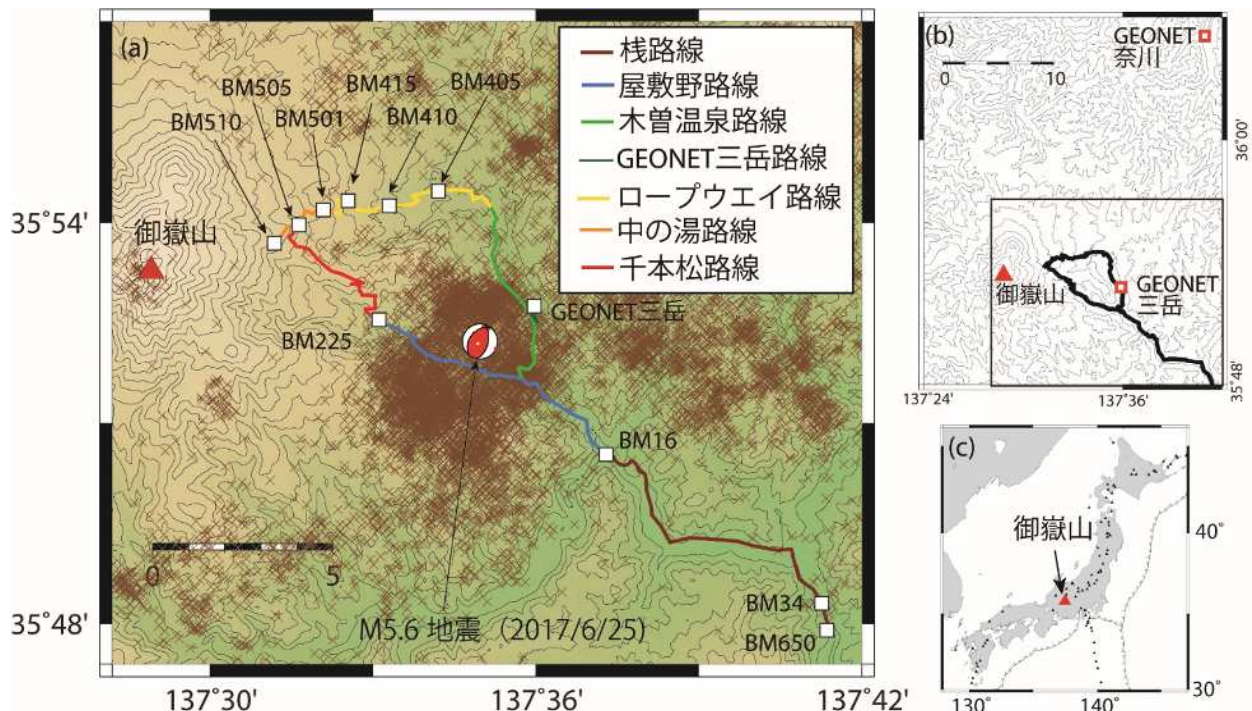


図1. 御嶽山, 水準路線, 主要な水準点(BM)およびGNSS観測点の位置 2016年9月~2025年5月に発生した地震の震源(×)およびF-net震源メカニズム解も示す。



後述)．噴火準備過程における変動は小さく、ゆっくりと進行し、火山周辺の非常に狭い範囲に局在する可能性があるため、水準測量はその検出に適した手法である．火山地域での水準測量の詳細については山本 (2022) を参照されたい．

御嶽山の東山麓の水準路線は、総路線距離約55 km・水準点数114点で構成されている(図1a)．栈路線、屋敷野路線、木曾温泉路線では2014年噴火以前から水準測量が実施されている(e.g. Kimata et al., 2004; Murase et al., 2016)．2014年噴火後に、山頂域に近い領域の変動を取得するためロープウェイ路線 (2014年設置)・中の湯路線 (2015年設置) を設置した．2016年には、GNSS測量と接続して解析を行うためGENET三岳路線を設置した．2021年には千本松路線が設置され、山頂域に近い領域での測量が強化された．また測量路線が環状となり、環の閉合を利用した精度の評価ができるようになった．

2014年噴火以降、12回の測量が実施された．その詳細は表1に示す．測定にはLeica Geosystems社製デジタルレベルDNS03およびLS10、トプコンソキア社製デジタルレベルSDL1Xを使用した．

本稿では、GNSS測量と接続して解析を行うため、GEONET三岳路線の設置後の2016年以降の測量結果を対象とした(村瀬・他, 2025)．

### 3. 水準測量の精度

噴火の準備過程に伴う微小な地殻変動をとらえるためには、mmレベルの上下変動の検出が求められる．本章では、水準路線が環状となった2021年以降のデータを用い、測量誤差の検討を行う．

水準測量では、観測精度の確認のために必ず往復測定を行う．水準点Aに対する水準点Bの観測比高(往路測定値)を $h_{AB}$  (m単位)とし、水準点

Bに対する水準点Aの観測比高(復路測定値)を $h_{BA}$  (m単位)とすると、その往復差 $U$  (mm単位)は、式(1)で計算される．

$$U = (h_{AB} + h_{BA}) \times 10^3 \quad (1)$$

この往復差 $U$ は、各水準点間の往復測定毎に計算され、測量結果の精度の検証に用いられる．図2に2021~2025年の測量で得られた往復差と距離の関係を示す．水準測量の誤差は距離の平方根に比例して増加する性質をもつため、距離が大きくなると誤差も大きくなる様子が見られる．

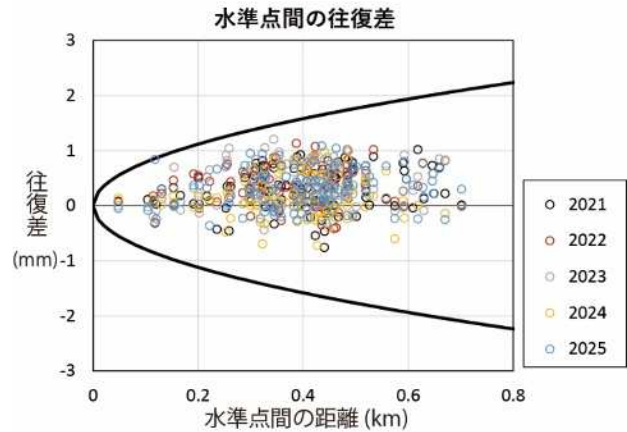


図2. 水準点間の往復差

1級水準測量では、 $U$ の許容範囲は $2.5\sqrt{L}$ 以内 ( $L$ は水準点間の観測距離 (km単位)) であり、これを超えた場合には再測量を行っている．図2の黒線は $\pm 2.5\sqrt{L}$ を示し、全ての往復差がこの範囲内である．

公共測量作業規定の準則(国土地理院, 2025)には、1km当たりの観測の標準偏差として式(2)が示されている．

$$m_0 = \sqrt{\frac{1}{4n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{U_i^2}{S_i} \right)} \quad (2)$$

表1. 2014年噴火以降の水準測量

測定回	測定路線
2014年10月	栈・屋敷野・木曾温泉・ロープウェイ
2015年4月	栈・屋敷野・木曾温泉・ロープウェイ・中の湯
2016年9月	栈・屋敷野・木曾温泉・ロープウェイ・中の湯・GEONET三岳
2017年4月	栈・屋敷野・木曾温泉・ロープウェイ・中の湯・GEONET三岳
2017年9月	屋敷野・木曾温泉・GEONET三岳
2018年4月	栈・屋敷野・木曾温泉・ロープウェイ・中の湯・GEONET三岳
2019年4月	屋敷野・木曾温泉・ロープウェイ・中の湯・GEONET三岳
2021年5-6月	栈・屋敷野・木曾温泉・ロープウェイ・中の湯・GEONET三岳・千本松
2022年5月	屋敷野・木曾温泉・ロープウェイ・中の湯・GEONET三岳・千本松
2023年5月	栈・屋敷野・木曾温泉・ロープウェイ・中の湯・GEONET三岳・千本松
2024年5月	屋敷野・木曾温泉・ロープウェイ・中の湯・GEONET三岳・千本松
2025年5月	栈・屋敷野・木曾温泉・ロープウェイ・中の湯・GEONET三岳・千本松

ただし、 $m_0$  は 1km 当たりの観測の標準偏差 (mm/km 単位)  $U_i$  は水準点  $i-1$  から  $i$  の間の往復差 (mm 単位),  $S_i$  は水準点  $i-1$  から  $i$  の間の観測距離 (km 単位),  $n$  は観測区間の数 (測定した水準点数は  $n+1$ ) となる。この式 (2) を用いて計算した 2021~2025 年の 1km 当たりの観測の標準偏差  $m_0$  を表 2 に示す。

式 (2) は、水準測量の誤差として、偶然誤差のみを仮定している (式 (2) は、偶然誤差のみの場合に標準偏差となるが、偶然誤差と系統誤差を含む場合は RMS 誤差となる)。偶然誤差のみの場合、水準測量の往復差は、0 を中心に土均等に分布し、その総和は 0 となると期待される。しかし、図 2 を見ると、往復差は正の領域に偏っており、系統誤差が含まれていることが予想される。そこで、観測データに含まれる系統誤差と標準偏差を分けて評価を行う。中根・水谷 (2017) では、1km 当たりの標準偏差  $\sigma$  として式 (3)、1km 当たりの系統誤差  $\beta$  として式 (4) を提案した。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{4n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{U_i - \mu}{S_i} \right)^2} \quad (3)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{4n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\mu^2}{S_i} \right)} \quad (4)$$

ここで

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{U_i}{S_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i}} \quad (5)$$

ただし、 $\sigma$  は 1km 当たりの標準偏差 (mm/km 単位)、 $\beta$  は 1km 当たりの系統誤差 (mm/km 単位)、 $\mu$  は往復差を距離の逆数で重み付けした加重平均値 (mm 単位) である。式 (3) を用いて求めた標準偏差  $\sigma$ 、式 (4) を用いて求めた系統誤差  $\beta$  も表 2 に示す。観測毎に多少値は異なるが、偶然誤差

表 2. 2021~2025 年の測定値の誤差

測定回	標準偏差 $m_0$ (mm/km)	系統誤差を考慮した誤差計算		環閉合差による標準偏差 $\sigma_e$ (mm/km)
		標準偏差 $\sigma$ (mm/km)	系統誤差 $\beta$ (mm/km)	
2021	0.37	0.30	0.22	0.09
2022	0.41	0.28	0.30	0.06
2023	0.44	0.33	0.29	0.02
2024	0.32	0.29	0.13	0.10
2025	0.37	0.30	0.22	0.25

と同程度の  $\sim 0.3\text{mm/km}$  の系統誤差が含まれていることが明らかとなった。

水準測量の系統誤差の主な原因として、標尺台の沈下が考えられる (根本・平井, 1990)。水準測量では、前視の読定の後にデジタルレベルが次の点に移動し、後視を読定する。その間に、標尺の高さは不変でなければならない。しかしアスファルト上に設置した標尺台が時間とともに沈下することがあり、その沈下量は往復差に正の値として表れる。御嶽山水準測量では、沈下の対策としてセラミック爪の標尺台 (根本・平井, 1990) を使用しているが、図 2 には往復差の正の偏りが見られる。この正の偏りが標尺台の沈下により生じていると仮定すると、標尺台を使う回数が増えるほど往復差が大きくなることが予想される。一般的に、観測比高の絶対値の大きい区間では、標尺とデジタルレベルの間の距離を長く取ることが困難であるため、同距離の比高の小さい区間と比較して標尺台の使用回数が増える。そこで、1km 当たりの往復差と観測比高の絶対値との関係を検討した (図 3)。

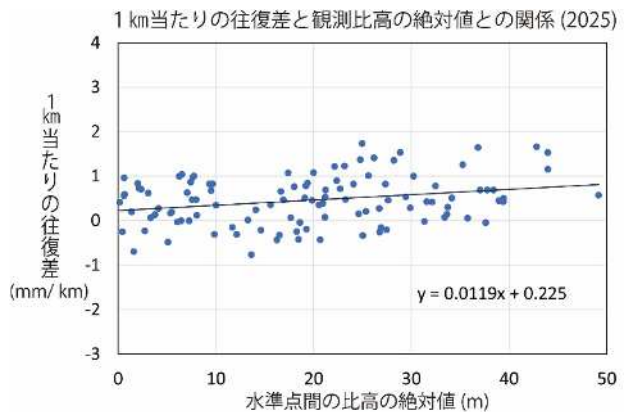


図 3. 1km 当たりの往復差と観測比高の絶対値との関係 近似直線 (黒線) と近似式も示す。

往復差は観測距離の 2 乗根に比例して増加するため、往復差から観測距離の 2 乗根を除することで 1km 当たりの往復差に補正した。1km 当たりの往復差と観測比高の絶対値の間に僅かな正の相関

がみられ、台座の沈下の影響を受けている可能性が示唆された。

今回、観測比高の大きい区間では標尺台を設置する回数が増えるという一般的な仮定のもと議論を行ったが、標尺台を設置する回数は、観測比高だけではなく、視通を阻害する路線沿いの構造物や、観測時の天候（陽炎の発生）によっても大きく変化する。より正確な議論のためには、測定時に標尺台を設置した回数を記録し、標尺台の設置回数と往復差の関係を議論することが望ましい。また気温の高い夏季の測定ではアスファルトの軟化により沈下の影響が大きくなると予想されるため、季節の異なる測定による系統誤差の比較も有効と考える。

水準路線が環をなしている場合は、環の閉合差を用いて標準偏差を求めることができる。国土地理院（2003）では、以下の式（6）を用いて1km当たりの標準偏差を計算している。

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( \frac{e_i^2}{L_i} \right)} \quad (6)$$

ただし、 $\sigma_e$ は閉合差による1km当たりの標準偏差、 $e_i$ は環 $i$ の閉合差、 $L_i$ は環 $i$ の距離（km単位）、 $m$ は環の数である。御嶽山の水準路線では環が1つであり、標準偏差を求める十分なデータとは言いが、参考までに式（6）を用いて計算した標準偏差 $\sigma_e$ も表2に示す。環閉合差による標準偏差は、往復差による値より小さく求められた。

本章の終わりに、1km当たりの標準偏差を用い、どの程度の上下変動の検出が可能であるかを検討する。水準測量では、各観測比高を基準点から足し合わせることで、基準点からの相対高度を得ている。そのため、基準点からの観測距離の2乗根に比例して観測比高の誤差も大きくなる。本解析では、GEONET三岳観測点を固定点として、変動の計算を行っているため、GEONET三岳観測点から最も離れた水準点であるBM650（観測距離18km）において標準偏差が最も大きくなる。1km当たりの標準偏差 $m_0$ が最も大きい測定回は2023年（0.44mm/km）、次に大きい測定回は2025年（0.37mm/km）であるので、その2つの測定値から計算された2023～2025年の上下変動の標準偏差が最も大きくなる。つまり2023～2025年のBM650の上下変動の標準偏差が最大値となり、その値は2.4mmと計算される。この範囲を超える上下変動については検出可能であると考えられる。

#### 4. GNSS 測量を用いた水準測量基準点の変動補正

水準測量で測定できる値は、ある時点での水準点間の比高である。基準となる水準点（基準点）を設け、各観測点間で測定された比高を、基準点から順に足し合わせていくことで（基準点からの）相対高度を求める。異なる時点に測定された各水準点の相対高度の差として上下変動量を得るが、その際に基準点は時間的に不動と仮定される。御嶽山の水準では、御嶽山の火山性の変動が主たる上下変動の原因と考えられるため、御嶽山から最も遠く離れた水準点が望ましい。これまでは測定された路線の東端の水準点（BM16, BM34, BM650）を基準として地殻変動を計算してきた（e.g. 村瀬・他, 2024）。

解析期間中の2017年6月25日にマグニチュード（M）5.6、深さ7kmの逆断層地震が御嶽山東山麓で発生した（気象庁, 2017）。その震源位置は、屋敷野路線と木曾温泉路線の分岐の付近であり、地震時の上下変動は水準路線全体に影響を与えると考えられた（図1）。基準点が上下変動する場合は、別の測量手法を用いてその変動量を推定し、水準測量で求められた相対高度に加えることで補正する必要がある。

2016年以降、GEONET三岳観測点と木曾温泉路線を接続する路線（GEONET三岳路線）を設置し、測量を行ってきた。GEONETとは国土地理院により設置・運営されているGNSS連続観測点である。その観測点の座標値は、日々の座標値（F5解）として提供されている。本解析では、GEONET奈川観測点を、基準点として用いた。GEONET奈川は2017年M5地震から十分に離れ、その影響は受けていないと考えられる（図1b）。

以下に補正の手順を示す。

（1）：GEONET三岳観測点の楕円体高からGEONET奈川観測点の楕円体高を引くことで、GEONET奈川観測点を基準としたGEONET三岳観測点の上下変動を得た（図4）。2017年に約20mmの隆起が見られ、M5.6地震による影響と考えられる。

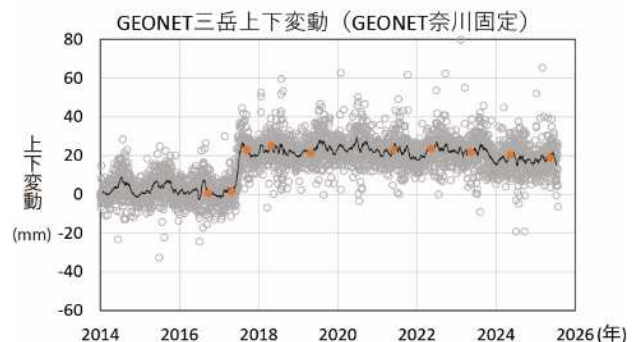


図4. GEONET三岳観測点の上下変動

2016年9月—2017年4月の上下変動

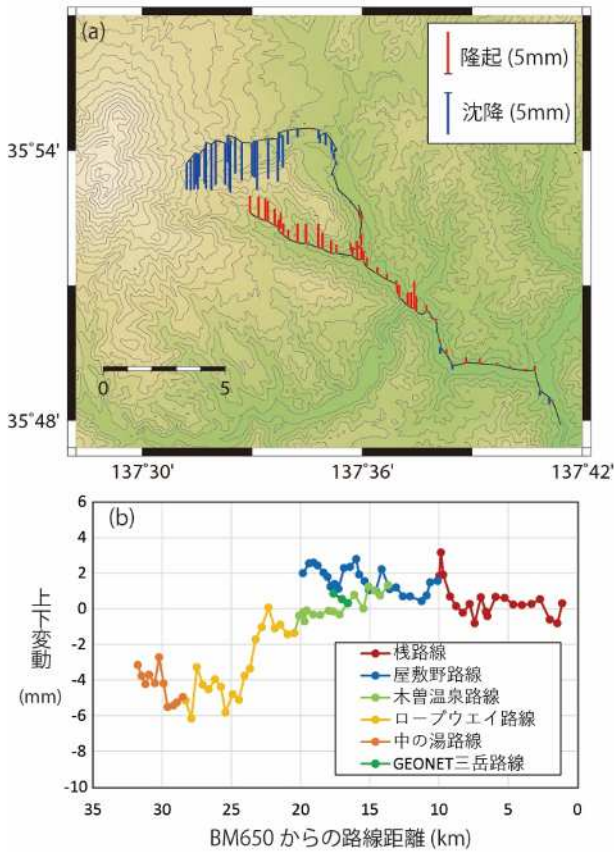


図5. 2016年9月—2017年4月の上下変動

2018年4月—2021年5-6月の上下変動

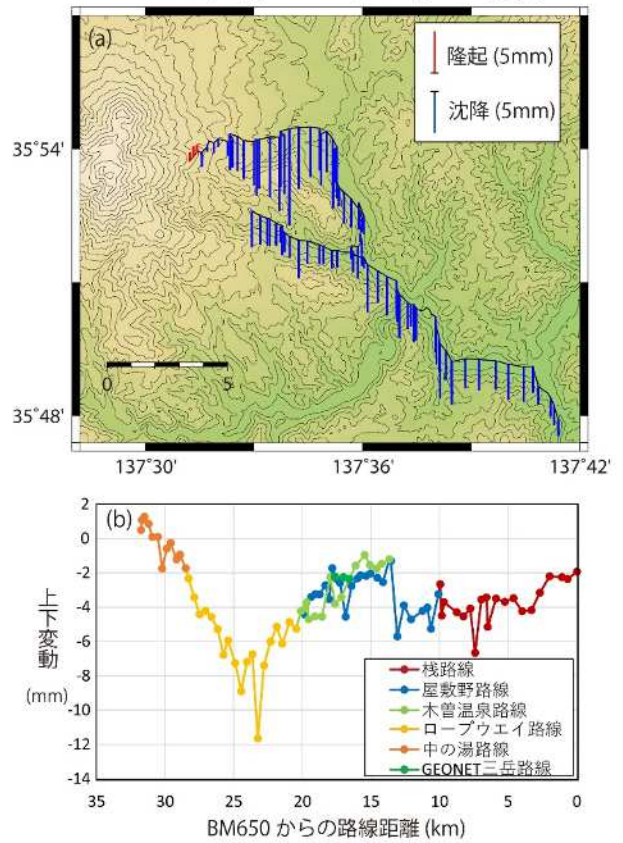


図7. 2018年4月—2021年5-6月の上下変動

2017年4月—2018年4月の上下変動

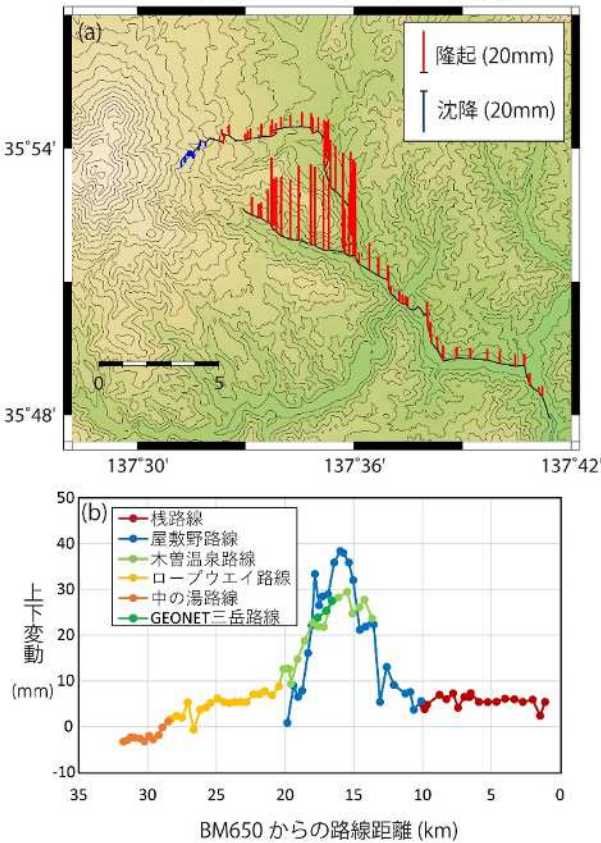


図6. 2017年4月—2018年4月の上下変動

2021年5-6月—2023年5月の上下変動

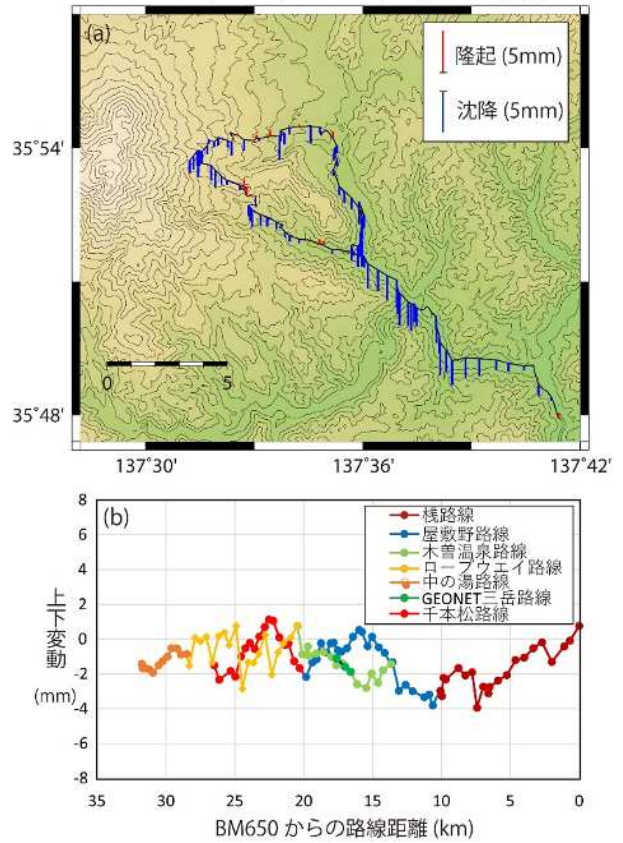


図8. 2021年5-6月—2023年5月の上下変動

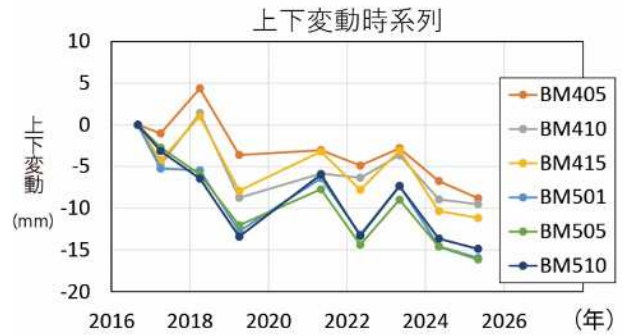
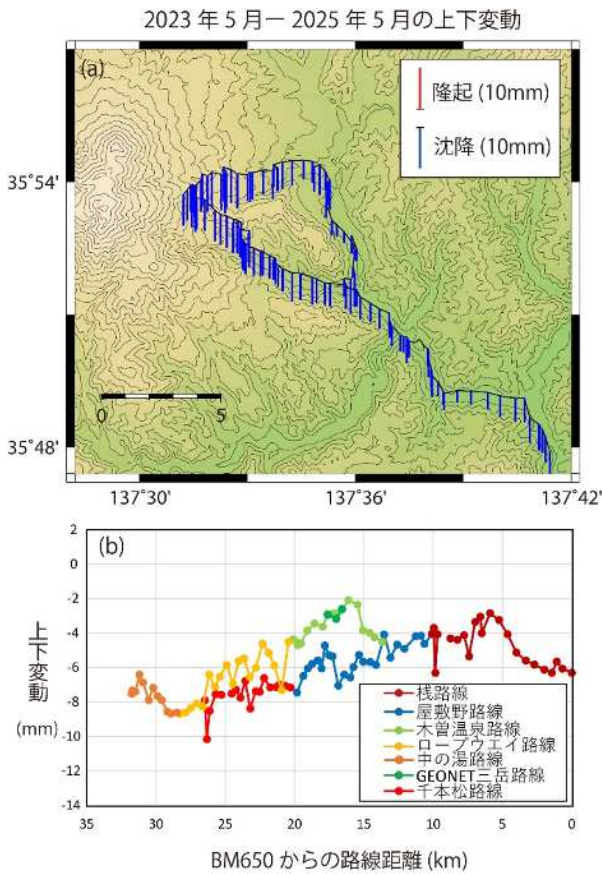


図11. 中の湯・ロープウェイ路線の2016~2025年の時系列 水準点の位置は図1参照.

(2) : 各期間に測定された水準測量の比高データから, GEONET 三岳観測点を基準として相対高度を計算し, その差を取ることで GEONET 三岳観測点基準の上下変動を計算した.

(3) : GNSS から求められた日々の上下変動の精度は, 水準測量よりも低い. そのため, 水準測量実施日を中心とした30日間の平均値を用いることで上下変動の精度を向上させた (図4に橙色の丸で示す). 上下変動を求める期間に合わせて30日平均値の差を取り, GEONET 三岳観測点の上下変動を得た.

(4) : GEONET 三岳観測点の上下変動を, 水準測量から求めた上下変動に加えることで, 水準測量の上下変動を GEONET 奈川観測点基準に変更した.

### 5. 御嶽山東山麓での微小な上下変動

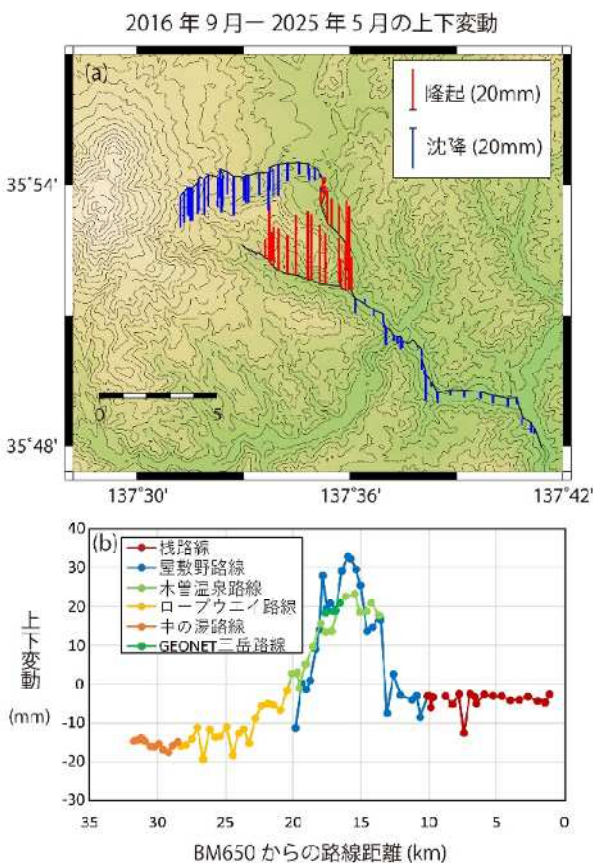
本章では GEONET 奈川観測点基準に変更された御嶽山東山麓での上下変動について議論する. ここでは, 東山麓全体にわたり観測が行われた2016, 2017, 2018, 2021, 2023と2025の測量データを用いることとする.

#### 5.1 2016年9月—2017年4月の上下変動(図5)

図の(a)では地図上に棒グラフで変動を示すことで上下変動の発生している位置を示し, (b)では折れ線グラフを用いて変動量を読み取りやすく示した (図6~10も同様). 中の湯路線・ロープウェイ路線において, ~6mmの沈降が検出された. 屋敷野路線・棧路線の西部では~3mmの隆起が検出された.

#### 5.2 2017年4月—2018年4月の上下変動(図6)

この期間中の6月25日にM5.6地震が発生した. 棧路線・屋敷野路線・木曾温泉路線・ロープウェイ路線で隆起が検出され, 震央から最も近い屋



敷野路線では最大 40mm の隆起となった。一方で、山頂に最も近い中の湯路線では沈降している。

### 5.3 2018年4月—2021年5-6月の上下変動(図7)

棧路線・屋敷野路線・木曾温泉路線・ロープウェイ路線で沈降が見られ、その最大値はロープウェイ路線中部での 12mm であった。ロープウェイ路線中部を境に、山頂側に向かって沈降量は減少し、中の湯路線の西部ではわずかに隆起に転じた。

### 5.4 2021年5-6月—2023年5月の上下変動(図8)

この期間より、千本松路線の上下変動が加わった。中の湯路線・ロープウェイ路線・千本松路線・屋敷野路線西部の変動は 0~2mm の範囲であり、有意な変動は見られなかった。一方で屋敷野路線東部・棧路線では最大 4mm の沈降が見られた。

### 5.5 2023年5月—2025年5月の上下変動(図9)

この期間は、全路線で沈降であった。棧路線中部から中の湯路線の東部にかけて山頂側に向かって沈降量が増加していく様子が見られた。最大の沈降量は、スパイク状の外れ値を除くと、中の湯路線東部の 9mm であった。その後、中の湯路線の沈降量は 6mm まで減少した。

### 5.6 2016年9月—2025年5月の上下変動(図10)

図5~図9で示した2016年9月—2025年5月の変動を積算した上下変動を図10に示す。屋敷野路線・木曾温泉路線路線では、M5.6地震による隆起が顕著にみられる。それ以外の水準点では沈降がみられる。特にロープウェイ路線・中の湯路線では山頂側に向かって沈降量が増加する傾向が見られ、御嶽山の2014年噴火後の収束の過程をとらえていると考えられる。

### 5.7 中の湯路線・ロープウェイ路線の水準点時系列(図11)

御嶽山の山頂に近く、顕著な沈降が見られた中の湯路線・ロープウェイ路線の主要な水準点における2016~2025年の時系列変化を図11に示す。測定毎に5mm程度の隆起・沈降が見られるが、長期的には沈降していく傾向が読み取れる。その沈降量は最も西側のBM510において、2016~2025年の9年間で約15mmである。

測定毎に5mm程度の隆起・沈降を繰り返す傾向は、ロープウェイ路線よりも中の湯路線で顕著である。2016年9月—2017年4月の上下変動(図

5)や2023年5月—2025年5月の上下変動(図9)では、全体の傾向として沈降量は山頂側に向かって増加していくが、中の湯路線で減少に転じる。周囲とは異なる中の湯路線の変動パターンから、測定毎に隆起・沈降を繰り返す傾向は、中の湯路線付近の局所的な変動をとらえた可能性が考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、御嶽山の東山麓で実施された水準測量のデータを用い、その観測精度の検証を行い、2014年噴火後の微小な上下変動の検出を試みた。

観測精度の検証では、1km当たりの標準偏差 $m_0$ として~0.4mm/kmが計算された。系統誤差の検討では、台座の沈下の影響を受けている可能性が示唆された。上下変動の標準偏差は最大で2.4mmと推定され、この範囲を超える上下変動は検出可能であると考えられる。

2016~2025年の御嶽山東山麓の上下変動としては、2017年に発生したM5.6地震による隆起が屋敷野路線・木曾温泉路線において顕著にみられた。ロープウェイ路線・中の湯路線では山頂側に向かって沈降量が増加する傾向が見られ、御嶽山の2014年噴火後の収束の過程をとらえていると考えられる。その沈降量は最も西側のBM510において、2016~2025年の9年間で約15mmであり、継続的な水準測量を実施していなければ検出できない微小変動であった。

今後も水準測量を継続し、次の噴火準備過程の微小変動をとらえ、噴火メカニズムの解明や火山防災につなげていきたいと考える。

## 謝辞

本論文を寄稿する機会を与えてくださいました日本物理探査株式会社内田篤貴氏に感謝いたします。水準測量データの取得には、日本大学、名古屋大学、九州大学、京都大学、東京大学、気象庁の皆様にご協力をいただきました。気象庁一元化震源データ、F-net震源メカニズム解データを使用させていただきました。一部の図の作成にGMT(Generic Mapping Tools, Wessel and Smith,1995)を用いました。ここに記して感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Kimata F, Miyajima R, Murase M, Darwaman D, Ito T, Ohata Y, Irwan M, Takano K, Ibrahim F, Koyama E, Tsuji H, Takayama T, Uchida K, Okada J, Solim D, Anderson H (2004) Ground uplift detected by precise leveling in the Ontake earthquake swarm area, central Japan in 2002–2004.

Earth Planets Space 56:e45–e48.  
<https://doi.org/10.1186/BF03353324>

- 2) 気象庁(2014) 特集1. 2014年9月の御嶽山の噴火, 地震・火山月報(防災編) 〈<https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/gaikyo/monthly/201410/201410tokushuu.pdf>〉(参照 2025/08/29)
- 3) 気象庁(2017) 平成29年6月25日07時02分頃の長野県南部の地震について, 〈<https://www.jma.go.jp/jma/press/1706/25a/kaisetsu201706250900.pdf>〉(参照 2025/08/29).
- 4) 国土地理院(2003) 特集: 国土地理院の測量事業・技術の変遷, 国土地理院時報, 100集, 第1編, 〈<https://www.gsi.go.jp/common/000024739.pdf>〉(参照 2025/08/29).
- 5) 国土地理院(2025) 公共測量作業規程の準則, 〈<https://www.gsi.go.jp/common/000258734.pdf>〉(参照 2025/08/29).
- 6) Murase M, Kimata F, Yamanaka Y, Horikawa S, Matsuhira K, Matsushima T, Mori H, Ohkura T, Yoshikawa S, Miyajima R, Inoue H, Mishima T, Sonoda T, Uchida K, Yamamoto K, Nakamichi H (2016) Preparatory process preceding the 2014 eruption of Mount Ontake volcano, Japan: insights from precise leveling measurements. EPS. Earth Planet Sp 68. <https://doi.org/10.1186/s40623-016-0386-4>
- 7) 村瀬雅之・前田裕太・堀川信一郎・浅井岬・金幸隆・竹脇聡・及川純・手操佳子・谷田部史堯・弘田 瑛士 (2024) 精密水準測量によって検出された御嶽山の上下変動(2023–2024年), 日本測地学会 2024 秋季大会
- 8) 村瀬雅之・前田裕太・堀川信一郎・浅井岬・竹脇聡・小池遥之・金幸隆・松島健・内田和也・山口雅弘・馬場朱莉・大川航平・吉川慎・井上寛之・石井杏佳・及川純・手操佳子・栗原佑典・谷田部史堯 (2025) 精密水準測量によって検出された御嶽山の上下変動(2016–2025), 日本火山学会 2025 秋季大会,
- 9) 中根勝見・水谷素子(2017) 水準測量観測の標準偏差についての考察, 測地学会誌, 63, 45-50
- 10) 根本盛行・平井英明(1990) 精密水準測量作業用標尺台の改良, 国土地理院時報, 72, 57-67
- 11) Wessel P, Smith WHF (1995) New version of the generic mapping tools. EoS Transactions 76:329. <https://doi.org/10.1029/95EO00198>
- 12) 山本圭吾(2022) 精密水準測量概説—火山活動に伴う微小な地盤上下変動の検出を目指して—, 火山, 67, 221-231

## 1944年東南海地震での軍需工場における被害の背景

武村雅之<sup>1)</sup>

1) 名古屋大学減災連携研究センター

### 1. はじめに

1944(昭和19)年12月7日の東南海地震は、現在はマグニチュードM7.9(気象庁発表)といわれているが、発生当初から関東大震災を起こした関東地震(M7.9)を上回る規模の地震であるといわれてきた[たとえば、半田空襲と戦争を記録する会(1995)]. 一方で、繰り返し起こる南海トラフ地震の中では規模は小さめというのが通説である[たとえば、名古屋大学減災連携研究センター(2019)].

武村・虎谷(2015)は、詳細な震度分布を作成するために、従来から調査されてきた東南海地震の被害統計資料を総合的に調査して、この地震による死者数は1,183名、住家全潰数は18,143戸と推定している. この数字は関連死を除く死者数では、明治以降の我が国の被害地震で1946(昭和21)年の南海地震に次いで11番目に多い地震である[武村・北原(2023)]. ちなみに、一位は関東大震災の約105,000人である. さらに東南海地震は戦時中の地震であり、軍需工場の被害が取り上げられることが多いが、その中で、この地震で軍需産業が壊滅したかのような取り上げ方をされることもある[たとえば、中日新聞社会部(1983)]. 一方で、最も大きな被害を出した中島飛行機半田製作所でも人的被害は顕著であるが、軍用機の製造には大きなダメージはなかったとする見解もある[西・高田(2021)].

このように、東南海地震やその被害に関する見解は、定まらずにさまざまである. その原因の一つとして、戦時中で報道統制のために十分な資料が残されていないからと従来からよく言われてきたが、この指摘も全面的にそうとも言い切れない.

武村(2025)は、中島飛行機半田製作所について、近年の調査研究成果を踏まえて、被害の真相解明を行っているが、その中でも意外に多くの資料が残されていることもわかる. その際、武村(2025)も指摘しているが、東南海地震の被害や復旧の真相を明らかにするためには、戦時中ならでの様々な統制の実態を理解することが必要である. 特に東南海地震で被害の大きい軍需工場を取り上げる場合には、どのような人々がどのような労働条件の下で働いていたかを理解することは極めて

重要である.

このような認識の下に、本稿では戦時下の労働統制や軍需工場での労働者の待遇、さらにはそもそも軍需工場自信が持っていた問題などを明らかにした上で、東南海地震の与えた影響について考えてみたい.

### 2. 戦時下の労働統制

東南海地震に関して調査をしていると、戦時下特有のさまざまな組織名が出てくるが、それらはいずれも戦時統制下に生まれた組織である. 例えば、軍需工場で地震の被害にあった人々を見ても、従業員の他に、動員学徒あり、女子勤労挺身隊(女子挺身隊)あり、徴用工あり、さらにそれぞれについて日本人と当時植民地であった朝鮮半島では状況が異なっている.

それらが、戦時下にどのような経緯で生まれ、強化されていったかを述べる. 戦時下の労働統制の変遷については、法政大学大原社会問題研究所(1964)、一般社団法人日本職業協会「職業安定史」、文部科学省「学制百年」などのWeb資料と高崎(1999)をもとにまとめ、必要に応じて、他文献や行政文書(本文中記載)を参照した.

#### 2.1 国家総動員法

1937(昭和12)年7月7日の盧溝橋事件をきっかけとして日中戦争が勃発すると、政府は、9月に、国民の戦意高揚や戦争への協力体制の構築を目的に国民精神総動員運動を始めた. その中で、「国体の本義」に基づき「産業報国」「労使一体」をスローガンに1938(昭和13)年7月には中央に民間の産業報国連盟ができ、産業報国運動を推進した.

さらに1938(昭和13)年5月には、国家総動員法が施行された. 国家総動員法はこれ以降に、具体的に実施される様々な統制の根拠法令となった. この法律は、人的、物的の資源を統制運用し、戦時における国の全力を有効発揮することをねらったもので、その統制運用をするための国家総動員業務は、物資の生産、修理、配給、輸出、輸入、保管、運輸、通信、金融、衛生、救護、教育訓練、試験研究、情報、啓もう宣伝、警備など万般にわたった. 国民の徴用、総動員業務への協力、従業者の使用、雇入、解雇、賃金その他の従業条件も、統制出来る



こととされた。

## 2.2 報国運動による勤労奉仕

国家総動員法制定の翌月 8 月には、早くも文部省は「集团的勤労作業運動実施ニ関スル件」を通牒した。これにより、学生・生徒は夏季休暇の始期終期その他適当な長期休業中に中学校低学年は 3 日、それ以外は 5 日の勤労奉仕に従事することが義務付けられた。当時の中学校は原則 4 年で低学年とは 1, 2 年生（年齢は 12 歳—13 歳）である。

図 1 に昭和 16(1941)年 4 月施行の国民学校令以降の学校系譜図を示す。旧制教育機関を初等、中等、高等とわけると、初等教育機関は国民学校の 6 年制で対象年齢は 12 歳未満である。ここまでが当時の義務教育である。ただし各国民学校にはそれぞれ 2 年制の高等科がその上にあり、中等教育機関と 2 年間の重なりがあった。

中等教育機関は中学校、高等女学校、実業学校（商業学校）で、いずれも原則 4 年制で、12 歳以上 16 歳未満である。中学校は元々 5 年制であったが 1943 (昭和 18) 年の中等学校令（勅令第 36 号）で 4 年制に短縮された。ただし、その時点で在学しているものは従前の修業年限に従うことになっていた。女子に対する同じ位置付けの学校は高等女学校（原則 4 年制）である。

高等教育機関の対象年齢は 16 歳以上で、図 1 にあるのは、高等学校、専門学校、師範学校、青年師範学校、高等師範学校、女子高等師範学校、大学（18 歳以上）である。青年師範学校というのは働きながら学ぶ、現在の定時制の学校に当たる青年学校の教員を養成する学校である。

一方、産業報国運動もその目的である戦争に対する国民的協力を確たるものにするために、1940 (昭和 15) 年には、厚生省主導で産業報国連盟を吸収して大日本産業報国会が成立した。一方、日雇い労働者に対しては 1942 (昭和 17) 年 9 月に労務報国会を各府県に設立することとし、労務報国隊として活動するよう整備された。

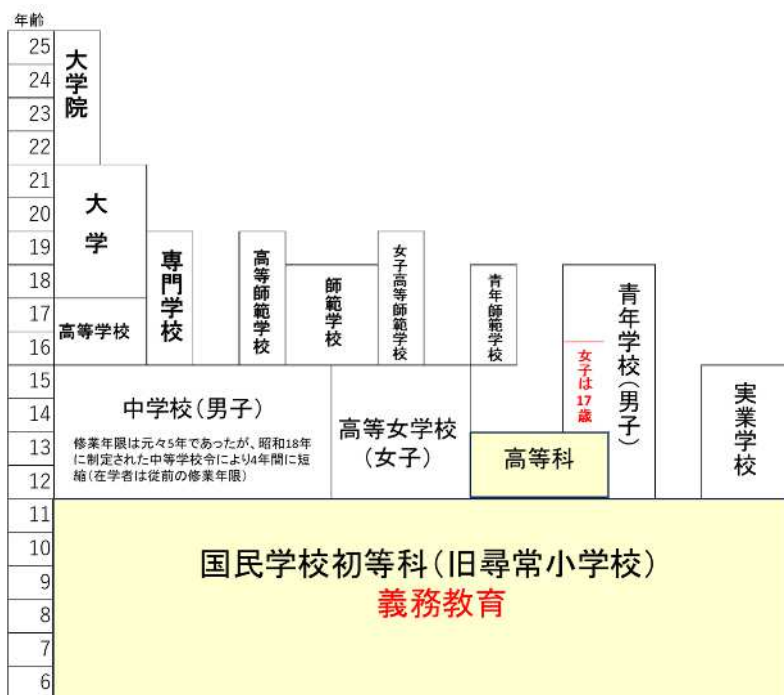
さらに学校においても、1941 (昭和 16) 年 8 月には、各学校で学校報国隊が結成された。また、1941 (昭和 16) 年 11 月には、国民勤労報国協力令が公布され、従来は任意であった勤労報国隊を義務化し、学生以外の 14-40 歳（のち 49 歳）の男子

と 14 歳以上 25 歳未満の独身女性を対象として、軍需工場や鉱山や農家などにおける無償労働に動員されるようになった。14 歳は高等小学校卒業年に相当する。

勤労報国隊には原則として、年間 30 日の奉仕が要求された。国民勤労報国協力令は 1943 (昭和 18) 年 6 月にも改正され、勤労報国隊は常時組織されるようになり、未婚女子に対して 3-6 ヶ月の勤労奉仕を要求するようになる。

以上のように各方面で組織された報国隊は、国民学校以下の初等教育を受ける子供たちを除いて、すべての国民を組織化し、勤労奉仕を行わせるもので、戦争協力事業のみならず、事故や災害からの復旧など様々な局面で活動が求められるようになった。

一方、戦局がますます拡大すると、青年男子が、次々に徴兵によって戦地に送られるなかで、軍需産業の生産力向上が望まれる事態となり、より効率的に国民を労働者として工場などに配属することが必要となる。このような中で行われたのが徴用で、いわば官主導の強制力を伴う人材派遣と言える。当然、勤労奉仕とは異なり、派遣先との間に雇用関係が生まれ、賃金の支給はもとより健康保険法や労働者年金保険法（のち厚生年金法）などの法的扶助の対象ともなった。



\* 文部科学省『学制百年史 資料編』の図を簡略化。なお年齢は年度初めの満年齢

図 1 昭和 16(1941)年 4 月施行の国民学校令以降の学校系譜図。

文部科学省『学制百年史 資料編』をもとに作成

## 2.3 徴用制度の拡大と女子勤労挺身隊

Wikipedia (徴用)によれば、「徴用」とは、戦時などの非常時に、国家が国民などを動員して、一定の仕事に就かせること。兵士としての徴用は「徴兵」と言うと言われている。

日本では、女性に対しては、後で述べるような家族制度に関する特殊事情が勘案され、最後まで完全な徴用制度は適用されなかった。また、朝鮮半島では植民地の住民の反感を恐れてその適用が内地に比べて遅れた。それらを踏まえて、以下では、男性、女性、朝鮮半島のそれぞれの場合について順に説明する。なお、徴用の一形態として、のちに行われる学徒動員も含まれる。

### (1) 男子の場合

国家総動員法に基づき、翌年 1939 (昭和 14) 年 1 月には、国民職業能力申告令が制定された。これは国民の職業能力を把握するために行われた登録制度であり、労務動員の基礎資料を得るためのもので、登録機関は職業紹介所であった。当初の登録は、戦時に最も緊要な職業能力の保有者に限って行われた。なお、職業紹介所は国家総動員法制定時点の 1938 (昭和 13) 年 5 月に国営となり、1941 (昭和 16) 年に国民職業指導所、1944 (昭和 19) 年に国民勤労働員署と名称を変え、勤労働員の担い手となった。

以上のような登録制度を背景として、1939 (昭和 14) 年 7 月には、国民徴用令が施行された。同月に閣議決定された「昭和十四年度労務動員実施計画綱領」では女子無業者や新規小学校卒業者、移住朝鮮人なども将来を見越して「給源」と書かれている。国民徴用令は、当初「職業紹介所の斡旋その他募集の方法によって目的を達しえない場合において、技術者または労働者を徴用し総動員業務に従事させることとしたものであり、国民登録の要申告者中から厚生大臣の権限によって徴用しよう。」という内容であった。

その後、1940 (昭和 15) 年 10 月には、国民職業能力申告令が改正され、有技能者から未経験可働能力者までを含め、新たに「青年国民登録制」を実施して、年齢 16 歳以上 20 歳未満の男子を登録することになった。同時に国民徴用令も改正され、軍事上特に必要あるときは要申告者以外のものをも徴用できることとし、国の行なう総動員業務のみならず政府の管理する工場、事業場にも徴用ができるようになった。その後、国民職業能力申告令は 1941 (昭和 16) 年 10 月に、さらに申告の範囲を広げ、16 歳以上 40 歳未満の男子及び 16 歳以上 25 歳未満の女子にまで拡大して「青壮年国民登録」と名称も変更になった。16 歳は中学校または高等

女学校卒業年相当である。この改正は、勤労報国隊が義務化された 1941 (昭和 16) 年 11 月の国民勤労報国協力令の公布と連動しているようである。

1941 (昭和 16) 年 12 月 8 日には太平洋戦争が開戦する。同時に国民徴用令が再改正された。被徴用者の従業業務を拡大し、国が行なう総動員業務、政府管理工場等のほか、さらに必要ある場合は厚生大臣の指定する工場事業場 (指定工場) の総動員業務にも従事せしめうることとし、他面、被徴用者をして安心して総動員業務に精励させるためとして、業務上の死傷病の場合または徴用による家族との別居等特別の事情がある場合には、その生活困窮を救うため、本人または家族に対する扶助規定を設けるなどしている。このような扶助規定も、太平洋戦争勃発の新事態に対処して、徴用をあらゆる世代に対し円滑に進められるよう、制度の充実が図られたものと思われる。

しかしながら、徴用制度の対象者が広がるにつれて問題も生じてくる。最大の問題は「徴用工の能率が上がらない」ということである。その原因としては、賃金の問題、期間が原則 2 年とされたことにより訓練期間が確保できない問題、欠勤の扱いなどの労務管理の問題などをあげることができる。例えば賃金の問題としては、徴用される人々の多くが未経験者であり、それ相当の賃金しか払われない場合、前職との賃金格差が生まれることがある。特に年配者にとっては死活問題になりかねず不満が増大する。それらを解決するために 1942 (昭和 17) 年 2 月に政府は、重要事業場労務管理令を公布し、重要事業場では賃金統制による賃金総額制限が廃止され、定期昇給が行えるようにした。あとで述べるように、この問題はずっと尾を引くことになる。

一方で、1943 (昭和 18) 年 7 月に国民徴用令の再々改正が行われ、これにより、国による強制力を高め、それまで原則 2 年であった徴用期間の延長も可能とし、事業主の徴用も可能とするなど、国にとって適材適所に都合よく人員配置ができるようになった。

次に、中学生以上の学徒に注目すると、1940 (昭和 15) 年 10 月の「青年国民登録制」には 16 歳以上 20 歳未満の男子を登録することになり、1941 (昭和 16) 年 8 月には、文部省の指示によって全国の学校において学校報国隊が結成されている。

図 1 の昭和 16 年 4 月施行の国民学校令以降の学校系譜図を見ると、当時は小学校にあたる国民学校を卒業したあとに学業を続ける場合、2 年間の高等科へ行くか 4 年間の中学校または高等女学校へ行くかの道があったことがわかる。国民学校令で

は義務教育を、高等科まで拡大しようとする意図があったが戦時下ということで結局実現せず、国民学校（今の小学校）のみが義務教育であった。このため卒業後は、社会人として働く人も多かった。従って上記の16歳以上の男子は中学校卒業相当の年齢ということになる。

さらに1941（昭和16）年10月には、軍要員と軍需生産要員の充足に不十分のため、大学・高等専門学校に在学または修業年限が6か月短縮されることとなった。その後日本は、太平洋戦争に突入し、その後の戦局の拡大によって兵員動員が益々増加し、産業界の労務給源は減少する一方であった。そのような中で、学徒の労働力がますます注目されるようになる。

1943（昭和18）年6月に閣議決定された「学徒戦時動員体制確立要綱」がそのことをよく物語っている。この決定は学徒の戦時動員体制を確立して、有事即応の態勢に置くこと、および労働動員を強化することがねらいであった。その後、労働動員の期間が30日から在学期間中一年に付き概ね三分ノ一相当と大幅に長くされ、ついに1944（昭和19）年2月に閣議決定された「決戦非常措置要綱」と引き続き3月に閣議決定された「決戦非常措置要綱ニ基く学徒動員実施要綱」で、中等学校程度以上の学徒は通年、常時軍需工場などに出勤できる体制をとり、必要に応じて動員することが決定された。

同時に国民職業能力申告令が再び改正され、12歳以上が労働力とみなされるようになった。その結果男子は12歳から60歳が登録対象となった。12歳は国民学校（小学校）卒業年であり、義務教育を終えたら学徒か否かを問わず全ての男子が動員対象となったことを意味している。

その結果、同年4月から全国の中学生が軍需工場へ動員され、1944（昭和19）年8月の学徒勤労令の施行によって法制化された。それによれば、大学・高専の2年以上の理科系学徒1000人に限り労働動員より除外し、それ以外の小学校卒業者は全て動員の対象となった。

## (2) 女子の場合

1939（昭和14）年7月の国民徴用令の際に閣議決定された「昭和十四年度労務動員実施計画綱領」の中には、徴用の給源として「女子無業者」というのが含まれているが、女性に対しては男子の徴用とは区別をして、女子勤労挺身隊という形で、あくまで未婚女性を対象として、勤労奉仕から徴用段階まで労働統制が強められていった。

高崎(1999)によれば、その背景には、わが国家族制度の特質にかんがみ「勤労挺身」よりも「軍神の母」となることを優先すべきという考えがあった

と言われている。1943（昭和18）年10月26日の大阪朝日新聞の社説にも「我が国婦人に軍国の要請するものは、何よりも先ず良妻賢母たれ、そうして貴き軍神の母たれというにある。この第一義的挺身を忘れていわば婦人としては第二義的な勤労挺身のみを唯一無二の途と考えうるものは、真に今日の国家的要請を悟らぬものである」という主張が展開されている。

女子に対する労働動員に関し施行された制度を再度まとめると、1941（昭和16）年10月の「青壮年国民登録」ではじめて16歳以上25歳未満の女子が登録されるようになる。また同年11月の国民勤労報国協力令では、14歳以上25歳未満の独身女性を対象とした勤労報国隊が編成され原則年間30日の奉仕が要求されることになった。一方で、国民徴用令の女性への適用は見送られた。さらに1943（昭和18）年6月の国民勤労報国協力令改正で、勤労報国隊は常時組織化され、無職の未婚女子に対して3-6ヶ月の勤労奉仕が要求されるようになる。

このような状況が大きく変わるのは、1943（昭和18）年9月の次官会議で出された「女子勤労動員ノ促進ニ関スル件」で、14歳以上の未婚者女性を動員の対象とし、女子勤労挺身隊を自主的に結成させ、航空工場・政府作業所・男子の就業が制約される業種（保母、看護婦など）での女性の就業を拡大することが決められた。これは従来の勤労報国隊と異なり、さしあたり一年ないし二年の長期にわたり、女学校卒業者は同窓会、その他は部落会、婦人会単位によって団体で工場に出勤させるというものである。

これを受けて、1943年10月中旬に最初の女子勤労挺身隊として女子学習院同窓生が「常盤会勤労挺身隊」を結成し、厚生省などに出勤した。1943年11月には厚生省が「女子については学校単位で女子勤労挺身隊を結成させ、供出させる」と発表した。

さらに1944（昭和19）年になると、2月に国民職業能力申告令の改正があり、男子と同じく女子も12歳以上が登録の対象となった。また3月には女子挺身隊制度強化方策要綱が閣議決定され、校長や女子青年団長、婦人会長によって挺身隊結成を強化することが確認され、労働省は「必要に応じて挺身隊組織により必要業務に協力すべきことを命じ得る」と、女子勤労挺身隊への強制を示唆した。1944年5月に女子勤労挺身隊員として、群馬県の戦闘機工場で働くようになった女性、当時16歳（山野井さん）は、工場からは1か月7円50銭の給料が出て、学費とそれなりの買い物は可能だったと

証言している[2020年8月12日埼玉新聞より]. 未婚女子にも徴用に近い形で動員が進んでいたことがわかる. 一方, 高等女学校に通う学徒についても, 1944(昭和19)年2月に閣議決定された「決戦非常措置要綱」以降, 実質的に男女の区別なく, 通年常時, 軍需工場などに出勤できる体制がとられるようになったようである.

そして, 1944(昭和19)年8月ついに学徒勤労令が出され, 同時に女子挺身勤労令公布が施行された. 後者により, 12歳から40歳までの女性からなる女子勤労挺身隊が法的にも勤労奉仕(雇用関係無し)から集団就職(雇用関係有り)という形に移行することになり, 強制ではなかったが, 実質的に男子の徴用に近い形で女子も勤労働員させられることになった. 先に述べたように12歳は義務教育である国民学校を終えた年齢である.

1945(昭和20)年3月には, 今までに出されてきた法律, 国民徴用令と女子挺身勤労令, 国民勤労報国協力令など関連法規が一本化され, 国民勤労働員令として運用されることになる. その際に女子勤労挺身隊も国民義勇隊として改組された.

### (3) 朝鮮半島の場合

朝鮮半島においては国民徴用令の施行は内地より遅れて1944(昭和19)年8月である. この月には, 内地では中学生や高等女学校の生徒などを含めて12歳以上の全ての男女に勤労働員をかけることに加えて, 元々徴用の給源には入っていなかった朝鮮半島に住む朝鮮人男子にまで勤労働員を拡大しなければならなくなったのである.

朝鮮半島での徴用には「強制連行」という言葉が使われることがある[半田空襲と戦争を記録する会(1995)]. これに対し, 朝鮮人も当時は日本国籍であり, 日本人と同様給与も至急され, 同じように徴用の義務を果すのは当然であるとして, 「強制連行」という言葉に疑問を持つ日本人もいる[竹内(2007)]. しかしながら, 特に反日感情の強かった朝鮮半島の住民にとっては, 他国のために異郷の地に強制的に連れて行かれ働かされたのであるから, 強制連行だと言っても無理のないことのようにも思われる.

他方女子に対しては, 事情が異なっていたようで, 半島女子挺身隊に関し, こちらは最後まで実質的に強制されることはなかった[Wikipedia(女子挺身隊)].

朝鮮半島の女子については, 1943(昭和18)年9月の次官会議で出された「女子勤労働員ノ促進ニ関スル件」を受けて, 1943(昭和18)年12月に, 朝鮮総督府が労務課を設置し, 「女子も決戦態勢で増産戦士として工場で働かせる」方針を決定した.

これに基づき, 強制性のない官の指導斡旋というかたちで希望者を集め, 1944(昭和19)年4月に朝鮮の慶尚南道隊の女子勤労挺身隊100名が初めて日本内地に派遣され, 翌年にかけていくつかの半島女子挺身隊が内地に到着している. その中に, 1944(昭和19)年6月に名古屋の三菱航空機道徳工場へ派遣された全羅南道隊150人, 同大江工場への忠清南道隊150人が含まれている[高橋(1999)].

1944(昭和19)年8月には, 内地では女子挺身勤労令が出され, 朝鮮半島では男子に対して国民徴用令が施行されるが, 1944(昭和19)年10月に, 朝鮮総督府が作成した「国民徴用の解説」には「今後においても女子を動員する場合, 女子挺身勤労令発動によるという考えは今の所持っておりません. 今後とも官の指導斡旋を建前とする心算」と述べ, 女子挺身勤労令を朝鮮半島には適用しないと答弁している. この姿勢は終戦まで継続し, 朝鮮半島では女子に対する強制的な勤労働員はなかったといわれている[Wikipedia(女子挺身隊)]. 高橋(1999)によれば, 半島女子挺身隊の動員規模についての詳細な統計は残っていないが, 多くて4,000名止まりと推定され, 内地の女子勤労挺身隊約47万人余に比べて非常に少ない.

東南海地震で工場が被災し, 57名の死者を出した三菱航空機道徳工場では死亡者リストに6名の半島女子勤労挺身隊の名前がある[武村(2019)]. 一方, 中島飛行機半田製作所では154名の死者の名前と出身地は分かっているが, 半島女子挺身隊らしい名前は見つからない[西・高田(2021)]. 他方, 1945(昭和20)年3月に富山県の不二越工場に到着した全羅北道隊の一員の話では, 終戦で帰国する際に8ヶ月分の賃金として170円が支払われたという[高崎(1999)]. 一月20円余りとなり, 後で述べるように寮費や食費などの控除を考えれば, 妥当な金額であったように思える.

筆者は2012(平成24)年に, 名古屋市南区の名南ふれあい病院で行われた, 三菱航空機道徳工場での東南海地震の犠牲者追悼記念碑の移設・除幕式に招かれたことがある. その際, 半島女子挺身隊として, 道徳工場において働いていたという全羅南道の梁錦徳さんが挨拶された. その中で, 当時日本において朝鮮人差別もあったが, 帰国後に慰安婦だったと言って差別され, 満足な家庭を持つことすらできなかったことが大変つらかった. その際, 日本政府をはじめ日本人が誰一人として, 自分が慰安婦でなかったことを証明してくれなかったことが恨めしいと話されていたのが印象的だった. 高崎(1999)は, 慰安婦を日本政府が斡旋した事実

はなく、あったとすれば、誰かにだまされたということであろうと述べている。

高崎(1999)には、梁錦徳さんが語ったとされる挺身隊に応募したいきさつも書かれている。それによれば、国民学校6年生になったとき、憲兵2名と日本人の校長先生に勧誘され、クラスのほぼ全員が“行きたい”と手をあげたが、その中で、頭が良く体が丈夫な9人が選ばれたという。親は反対したが、結局、羅州から24名が参加した。

半島女子挺身隊の特徴として、梁錦徳さんのような国民学校(高等科)の生徒が多いことが指摘されている。内地では軍需工場働く女学生の多くが高等女学校の生徒であったが、朝鮮半島では、娘を高等女学校などに通わせるほど比較的豊かな家庭の生徒や卒業生を動員すれば抵抗が大きくなることを恐れ、比較的貧しい家庭の子供を対象として募集した結果、国民学校の生徒が多くなったのではないかと述べられている[高崎(1999)]。

以上、戦時労働統制の変遷と特徴を述べてきたが、理解の一助とすべく末尾の付録1で労働統制の変遷を年表としてまとめた。

#### 2.4 東南海地震時の軍需工場における人員構成

以上のような労働統制の影響が、1944(昭和19)年12月7日の東南海地震発生時の工場労働者の構成にどのような影響を与えていたかを、中島飛行機半田製作所について調べた結果をもとにまとめると以下ようになる[武村(2025)]。

中島飛行機半田工場の従業員数は1945(昭和20)年8月現在約26,000人で、そのうち工場労働者は24,000人である。内訳は正規社員が約7,000人、徴用工5,000人、女子挺身隊員2,000人、学徒10,000人である。徴用工のうち1,200人が朝鮮人徴用工で残り3,800人が日本人徴用工である。1944(昭和19)年から徴兵年齢が19歳に引き下げられたこともあり、日本人徴用工には徴兵を免れた40歳以上の男子が多い。一方、女子挺身隊は未婚が条件となっていたために、十代が多く下限は12歳である。学徒は当時の中学生と国民学校高等科の生徒がほとんどで、現在の中学生から高校2年生くらいまでの男女が主力であった。

動員時期を見ると、徴用工の動員開始が最も早く、1943(昭和18)年7月の国民徴用令の再々改正で、国による強制力が高まり、それまで原則2年であった徴用期間の延長も可能となったこともあり、中島飛行機半田製作所では飛行機製造開始早々の1943(昭和18)年12月から徴用工が入職し、1944(昭和19)年はじめにかけて急増した。

一方、朝鮮人徴用工は1945(昭和20)年1月に入職している[武村(2025)]。これは、前年8月に、

朝鮮半島においても、国民徴用令が施行されたのを受けてのことであろう。

一方、女子挺身隊は、1943(昭和18)年9月の次官会議で出された「女子勤労働員ノ促進ニ関スル件」で、14歳以上の未婚者女性を動員の対象とし、従来の勤労働隊とは異なり、一年ないし二年の長期にわたり工場勤務させるという方針が出され、半田製作所では、半田高等女学校の1944(昭和19)年3月の卒業生のうち進学者を除く全員が中島に動員された。ほかにも山梨、長野、静岡など遠方からの女子挺身隊も増えていった。同年8月には女子挺身勤労働令公布が施行され、法的にも12歳から40歳までの未婚女性が徴用なみの扱いを受けることになる。

学徒動員については、1944(昭和19)年2月に閣議決定された「決戦非常措置要綱」と、引き続き3月に閣議決定された「決戦非常措置要綱ニ基ク学徒動員実施要綱」で、中等学校程度以上の学徒は、男女とも通年常時、軍需工場などに出勤できることになり、必要に応じ動員することが決定された。これを受けて、半田製作所では昭和19年4月の新学期から、一斉に学徒が動員され始めた。当初は愛知県の中学校や高等女学校の高学年の生徒たちが中心であったが、6月ころから遠方の京都、福井、山梨、7月には香川、愛媛など四国にまでその範囲が拡大している。また、1944(昭和19)年2月には同時に、国民職業能力申告令改正で男子の12歳から60歳が登録対象とされ、また、7月には動総45号「学徒勤労働ノ徹底強化ニ関スル件」(昭和19年7月19日)が出されたために、9月、10月には地元の中学校低学年や国民学校高等科(現中学1~2年)の生徒たちも動員された。そして12月に地震に遭遇することになる。なお、学徒動員の法制化は、1944(昭和19)年8月の学徒勤労働令の施行によって行われている。

以上の結果、地震時の中島飛行機半田製作所の働き手の7割は、12歳以上16歳未満の子供たちと40歳以上の高齢男子で構成されていたと推察される。これらの人たち総てが、飛行機生産の未経験者であったことは言うまでもない。

### 3. 軍需工場における労働者の待遇

次に、軍需工場に動員された人たちがどのような労働環境で働かされていたかを調べた。動員学徒や女子挺身隊と言え、労働環境は劣悪であり、その待遇は無報酬・長時間の労働というイメージで語られることも多い。『戦時下の東南海地震の真相』[西・高田(2021)]の著者である西まさるも、最初はそのようなイメージをもっていた一人のよう

で、調査の結果分かった勤労報酬や勤務時間のことをまとめた「学徒動員の実際」という項では「学徒動員について間違った認識を多く見かける・・・「え、嘘っ！」と言われたが給金もでていた。」とか「罹災者への慰霊と補償」という項では「同地震で中島飛行機半田製作所で罹災された死傷者に高額な補償金が出ていたのを同社の古い資料で知った。筆者は認識不足を恥じるばかりである。」などとコメントしている。

本章では動員学徒と女子挺身隊を対象に、組織体制、賃金、労働時間、補償などについて明らかにする。その際、大阪府が1944(昭和19)年に出した「工場事業場等学徒勤労働員ノ報償取扱細目」[三輪(2023)]と厚生省勤労局長と文部省総務局長名で地方長官(知事)宛に昭和18年10月15日に出された「勤発第二955号、女子勤労働員ノ促進ニ関スル件」という通牒文書が役立った。なお、前者は昭和19年9月3日付けの「動総58号」の文部省総務局長、厚生省勤労局長、軍需省動員局長より地方長官、軍需監理部長に通牒された「工場事業場等学徒勤労働員ノ報償取扱細目ニ関スル件」に依拠しているという[三輪(2023)]。参考のために、資料の構成と要点をまとめ、付録2、付録3として末尾に示した。

### 3.1 組織体制

まず大阪府の「細目」(目次は付録2)によれば、動員学徒を送り出す組織は一般に学校報国団と呼ばれる組織であった。国土防衛や生産・輸送の各方面に勤労働員体制を確立することを目的として、1943(昭和18)年6月に制定された「学徒戦時動員体制確立要綱」に基づいて編成されたものである。なお、国民学校においては同様の組織を少年団と呼んだ。これらは、軍隊を模して学校を隊組織に編成したもので、報国隊長には校長が、中隊長・小隊長には教官が、分隊長には生徒が就任した。

軍需工場などの受け入れ側との学徒の給与や派

遣教員への謝金などの受け渡しは全て学校報国団を通して行われ、経理処理も学校報国団を通じて行われた。

例えば、動員学徒の給与も受け入れ側が舎費や食費やその他共通費用を控除したあと学校報国団に支払い、学校報国団が一般会計として管理し、授業料、報国団費、保護者費やその他共同購入した学用品費などを控除した後に、残額を学徒個人名義により貯金し、毎月保護者にその旨を報告するというものである(細目、甲二に記載)。なお同記載には、保護者より要請があった場合は学校長が認定して預金を引き出すことができ、預金通帳は学校で保管して、卒業、転退学時には本人に交付することとある。また、受け入れ側から学徒の貢献に応じて払われる特別謝金や付き添い教職員に支払われる謝金についても学校報国団の特別会計で管理することになっていた。

一般会計と特別会計の経理簿は様式第一ノ(一)(二)にあり、学徒や教職員の個人別の経理簿の様式が様式第二にある(付録2)。

なお、学徒の体験談にも「〇月分の月給をもらった。〇円は貯金して〇円をもらう」という記載があり、またもらう相手が先生からというのもよくあるが、おそらく保護者の要請で学校長の承認のもとに本人に渡す額を決め、その分を報国団から付き添いの派遣教員を通して学徒本人に手渡ししていたのではないかと推察される。なお、経理簿の様式二の学徒に対する帳簿には、本人渡という覧があり、備考に「本人渡しの欄は他府県学徒受入の場合に限り、之を設け其他の場合は本欄を設けることを要せざること」とある。

一方、付録3を見ると、女子勤労挺身隊の組織については、各府県において地方長官(知事、東京都は警視総監)を会長として、警察、内政の課長、市長、女子中等学校校長、大政翼賛会、大日本婦人会、大日本青少年団の代表などで構成される女子勤労

表1 学徒および女子挺身隊員の年代別給与の推定値

年齢(歳)	学徒		学徒月給(1)(2)		女挺身隊月給(3)	備考
	(男子)	(女子)	(男子)	(女子)		
18-21	大学		70円		60円以上	
16-18	高等学校	専門・師範学校	60円	50円	60円	女挺身は女学校卒業者の場合
14-16	中学校(高)	高等女学校(高)	50円	40円	44-48円	中島入社3年一般男子 34円位
12-14	中(低)高等小	女(低)高等小	30円	28円	—	

(1) 大阪府「工場事業場等学徒勤労働員ノ報償取扱細目」

(2) 文部・厚生・軍需各省通牒「工場事業場等学徒勤労働員受入側措置要綱ニ関スル件」

(3) 国民勤労働員署による大湊海軍工作部(青森県)の求人要領(14才以上40才未満の国民学校初等科卒以上)

動員協議会を設置するように決められ、そこが女子勤労挺身隊結成の指導や派遣先事業所の選定を行うと書かれている。

女子勤労挺身隊の結成には、高等女学校卒業者については当該学校単位として学校長の指導の下に同窓会の活動として、国民学校修了者については、女子青年団などを中心に町内会、部落会、婦人会の協力により組織するとされ、隊は原則 20 名以上 50 名以内で移住地が近いなどの条件で結成し、こちらも軍隊的に隊員から隊長、班長を選定するとしている。また、隊員は未婚女性を条件として、結婚すれば離隊することになっていた。

一方で、従来からあった勤労報国隊との関係として、「勤労報国隊に参加せしむるものは、概ね学校在学者、有業者ならびに女子勤労挺身隊に参加し難いものとする。」として、報国隊は本業を持ったうえでいわゆる勤労奉仕をする団体で、一方勤労挺身隊は、受け入れ側と雇用関係をもつ集団就職的性格をもっていたものと推察される。

### 3.2 賃金と控除

学徒に支払われる給料については、大阪府の「細目」の甲一に基本報償額として、男 30 円、女 28 円との記載があり、様式一 (一) と (二) の備考に男女の中等学校第 3 学年以上と中等学校低学年 (第 1, 2 学年) および国民学校高等科の報償額 (賃金)

が具体的に示されている。当時の 30 円は現在の 10-15 万円位か。さらに昭和 19 年 5 月に「動総 11 号」として文部省総務局長、厚生省勤労局長、軍需省動員局長より地方長官 (現在の知事)、軍需監理部長に通牒された「工場事業場等学徒勤労働員受入側措置要綱ニ関スル件」の別表二の「基本報償算定基準」[三輪 (2023)]には、上記中等学校の他に男子は高等学校と大学、女子は専門学校ならびに師範学校の学徒に対する報償額が示されている。それらをまとめて表 1 に示す。表には新学期時点の対応年齢も示した。

中等学校男子の報償額は、西・高田 (2021) が指摘する動員学徒の給料と一致する。西は同時に、備考に示す中島飛行機の入社 3 年の一般工員の給料が 34 円と、動員された中学生と同じ年代の一般工員の給料と比較しても高いと指摘している。

一方で女子挺身隊の具体的な給料や労働時間については、図 2 に示す国民勤労働員署から出された女子用の求人要領の記載を流用した。図 2 はその写しである。ただ、そこに書かれている福利などの条件は、工場などの事情にもより女子挺身隊にそのままあてはまるかどうかは疑問である。先にも述べたように国民勤労働員署は、もとは国営の職業紹介所であったが、1941 (昭和 16) 年に国民職業指導所、1944 (昭和 19) 年に国民勤労働員

求人要領 (女子用)		国民勤労働員署	
求人者	大湊海軍工作部	所在地	青森縣下北郡大湊町
業務ノ種類	艦船兵器ノ製造並ニ修理	志願者資格	年齢十四才以上、四十才未満ノ國民學校初等科終了程度以上ニシテ身元確實身體強健ナルモノ
提出書類	履歴書、戸籍抄本、各一通其ノ他扶養家族アルモノハ抄本ノ外ニ戸籍謄本一通ヲ申込ノ際勤労働員署ニ提出ノコト	就業時間	イ、勤務時間 自七時五十分 至十五時四十分 此ノ間一時間ノ休憩時間アリ
及ビ休日	ハ、休日 毎月二回ノ外祝祭日及海軍一般ニ休務ヲ達セラレタル日ハ休日トス (但シ休日ト雖モ給料ヲ支給ス 尚特定ニヨリ執務ヲ命ゼラレタルモノニハ二日分ノ給料ヲ支給ス)	待遇	イ、公私立女學校卒業者 一ヶ月平均月収六〇圓程度 ロ、右ハ卒業當初ノ月収ニシテ年齢経験ノ有無等ニヨリ相當考慮ス ハ、女子未経験者 年齢 平均月収 満一四、一五才 約 四四圓 満二一、二一才 約 五五圓 満一六、一七才 約 四八圓 満二二、二三才 約 五二圓 満一八、一九才 約 五七圓 満二四才 以上 五七圓以上
賃金	イ、健康保險掛金 毎月一圓以下 ロ、共済部掛金 毎月二圓内外 ハ、報國團掛金 毎月一〇錢以下	福利	醫療施設 海軍共済病院アリテ診療ハ勿論入院モ無料ニシテ、尚休業ヲ命ゼラレタル場合ハ給料ノ六割ノ傷病手当金ヲ支給ス又一年以上勤続スレバ家族ガ入院其ノ他ニヨリ治療費十圓以上ヲ要シタル場合其ノ半額ヲ補助ス 又女子組合員ニシテ分娩ノ場合、分娩費ヲ給料ノ六割 (七十五日分迄) 並ニ出産手当ヲ支給ス 海軍共済物資部アリテ生活必需品及日用品等ヲ安價ニ配給ス 女子寄宿舎アリテ生活費共一切ニテ一ヶ月十七圓程度 寢具ハナルベク持参ヲ希望ス (寢具ノ其他ノ荷物ハ青森縣下北郡大湊海軍工作部女子寄宿舎宛送付ノコト)

図 2 国民勤労働員署による大湊海軍工作部 (青森県) の求人要領の写し

表 2 賃金から控除される項目

所属団体	学校報国隊 (少年団)	女子勤労挺身隊	備考
宿泊舎費・食費	○	○	事業所天引き (必要な場合)
共通費用 (明示)	○	2円内外	事業所天引き (女挺は共済部掛金)
健康保険料	X	1円以下	学徒は受け入れ側事業所が全額支払う
所得税 (源泉徴収)	X	X	昭和16年以降の所得課税最低限は720円 (月60円)
報国団費	1円50銭	10銭以下	報国隊の経理。女挺隊では事業所 (報国団掛金)
保護者会費	○	X	報国隊の経理
授業料	○	X	報国隊の経理
共同購入学用品	○	X	報国隊の経理
残額	学徒個人名義で貯金	本人に支払	学徒は保護者の要求で払い出し可能

署と名称を変えて勤労働員の担い手となった機関である。

求人要領は、青森県の大湊海軍工作部への就職斡旋のためのものであり、原本はジャパンアーカイブズ (1850-2100) に掲載されている。図 2 を見ると、求人対象は 14 才以上 40 才未満の国民学校初等科卒以上の女性とあるが、年齢から考えると、国民学校高等科卒、高等女学校高学年相当である (図 1)。年齢に対応して女子の学徒とほぼ遜色がない金額になっているようである。後で述べるように、給料は一日 8 時間 (昼休み込) に残業 2 時間の 10 時間労働を前提として算出されており、一日 10 時間を前提としている学徒と同様である。

一方、賃金から控除される項目を表 2 にまとめた。学徒については付録 2 の甲二「報償の経理」に示されているものを用い、女子挺身隊については国民勤労働員署による女子用の求人要領によっている。宿泊舎費は工場の寄宿舎 (通常食事付き) に入って働く場合、食費はそれに加えて工場で食事のみを取る場合にも控除される。

共通費用は学徒の場合は甲二に、「特に明示するを要す」とあり、女子勤労挺身隊については共済部掛金を当てはめた。また健康保険料については、甲二では、受入側において支払うべきものと書かれており控除不要とした。一方、女子挺身隊では具体的に 1 円以下と書かれている。

また甲二で、報国団費については「学徒一人につき 1 円 50 銭を学校報国団 (国民学校では少年団) の特別会計に繰り入れると書かれ、丙で特別会計繰入金はおおよそ以下のような費用に使用することができる」として、出勤学徒の共同用品購入費、学徒動員用諸物品送付費など直接学徒が恩恵に供するものをあげている。さらに、学徒の保健衛生救護福利施設のための経費、出勤学徒 500 人以上の学校では 500 人以上につき一人の経理専任の補助事務員を雇うことができ、それに必要な事務費にも使える。また受入側から特別謝金が出るなどした場

合の表彰謝金やその他学徒勤務に関する記念事業費などの有益な事業のための経費にも使えると書かれている。女子挺身隊では報国団掛金となっており、一人 10 銭以下の記載がある。

このほか、学徒については報国隊で報償金 (賃金) から控除すべきものとして、授業料、保護者会費、共同購入の学用品費等とあるが、これらはいずれも学校関連のもので、女子挺身隊では控除されるべきものではないと思われる。

最後に所得税については、昭和 16 (1941) 年に課税最低限が引き下げられ、それまでの単身者で 1,500 円が一律に 720 円 (月額 60 円) となったが、表 1 でわかるように、大部分は 60 円以下であり、60 円を超えても必要経費分をみれば所得が課税最低限を上回ることはほぼ無いと判断して、控除不要とした。なお、給与所得者に対する所得税の源泉徴収が始まるのは昭和 15 (1940) 年からである [国税庁ホームページ]。

なお控除後の残金は学徒の場合まずは預金と決められていたが、女子勤労挺身隊の場合は、扶養家族のいる人もあり、おそらく本人に直接支給されていたものと思われる。

### 3.3 労働時間

1943 (昭和 18) 年 6 月に閣議決定された「学徒戦時動員体制確立要綱」に基づいて、学徒の勤労働員の期間は、それまでの年間 30 日から、在学期間中一年に付き概ね「三分ノ一相当」(4 か月) と大幅に長くなり、ついに 1944 (昭和 19) 年 2 月の「決戦非常措置要綱」で、中等学校程度以上の学徒は通年、常時軍需工場などに出勤させられる体制となった。

その場合の労働時間については、付録 2 に示す大阪府の「細目」の甲一「報償の算定」の残業手当の算定の項を見ると、「学徒については、一般工員の所定勤務時間に満たない勤務時間を定めても、残業手当は、所定勤務時間である 10 時間を超える分に支払われる。」とあり、学徒特別報償の一つと



表3 授業時間の規定

学年と性別	授業時間（1日）	勤務時間との合計	授業時間（1月）
中等学校1,2年、国民学校高等科	平均1時間以上	8時間以内	最低24時間
中等学校3,4,5年(男子)	平均1.5時間以上	10時間以内	最低42時間
中等学校3,4,5年(女子)	平均1時間以上	10時間以内	最低28時間

\* 中等学校3,4,5年で一直作業の者は勤務時間と合せて11時間を超えざる事

\* 授業時間の合計数は生産状況と睨み合わせて多少の増減を行いえる

\* 1時限の授業時間は凡そ30分

\* 必要に応じて、合併教授、複式教授を行い、教員不足の場合は出動各校の交換授業を行う

\* 理数科教員には工場職員を委嘱し得る

\* 夜間学校では週1回生徒を登校させ授業すること

\* 特設授業時間の外に体操、日光浴、体練実施の時間を設ける

された残業手当は1時間につき基本報償算定基準月額額の1/200と決められている(基準月額が30円とすれば15銭)。また、深夜就業は1人1回に付1円とある。

さらに、昭和19年7月の「動総45号」の「学徒勤労ノ徹底強化ニ関スル件」では、「一日の勤務時間は10時間を原則とする(残業を合わせて12時間).」とあり、「残業及び交代制による深夜就業は緊要なる産業に関しては中学校第三学年程度以上(14歳以上)の男子及び女子学徒にこれを課すことができる」とされている。

一方で、中等学校低学年(1,2年生)及び国民学校高等科児童(12歳以上14歳未満)については、「動総45号」で、「労働需要の状況に鑑みて国民学校高等科児童をも継続動員できる。ただし、その場合は心身の発達状況に応じて適正な作業の選択、作業時間の調整に務める。国民学校高等科児童だけでは足りない時は中等学校低学年をも動員しえる。」としており、まずは国民学校高等科の児童を優先的に動員しようという姿勢が見える。

また、労働時間については、同年の翌月8月に出された「発国462号 工場事業場等へノ中等学校低学年生徒及国民学校高等科児童動員ニ関スル件」で、出動期間は通年とする一方で、「作業時間は一日8時間(食事休憩等概ね1時間を含む)を標準とする。」とし、「臨時に必要な場合は一月10日以内に1日2時間の残業を課すことができるが、深夜作業は課さないこと。」と、やや軽めの労働時間が設定されている。

女子勤労挺身隊については昭和18年10月の「動発第二955号」の「女子勤労働員ノ促進ニ関スル件通牒」を見ると、出動期間は1年から2年とし「勤務時間は当初は概ね8時間程度」と書かれている。また、図2に示した、昭和19年の国民勤労働員署による求人要領には、勤務時間は7時55分

から15時40分(その間1時間の休憩あり)で、ほぼ8時間であるが、「増服業」として残業が2時間で、退廠時間が17時50分と書かれ、給料についても2時間の残業を前提として書かれていることから、実質は10時間労働とみてよいと思われる。ちなみに休日は毎月2回のほか祝祭日とされている。ちなみに、当時の祝祭日の数は現在の16日に対し半分の8日である。

以上のことを総合すると、中学三年生以上の男女には残業を合わせて12時間、中等学校低学年及び国民学校高等科児童には10時間、女子勤労挺身隊の女性にも10時間の勤務が課されており、休日は原則月2回であったと結論できる。

また、動員学徒の授業時間についても、興味ある記事を東南海地震後の12月22日の中部日本新聞社会面でみつけた。勤労働員学徒(他府県学徒も含む)に対する行学一致の恒久的基本方針につき愛知県は東海軍需監理部と協議したとする記事で、毎日の特設授業時間を設定し、22日に各出勤工場など関係各方面に即時実施方を通牒したと書かれている。東海軍需管理部というのは、軍需品増産の必要性から設置された国の軍需省の地方支分部局の一つで、東海地方の軍需産業の監督に当たる役所である。

記事によれば、授業科目は、男子生徒に対しては、教練、訓育(戦史、国史)、国民科、理数科(軍事科学、現場教育)で、女子生徒は、男子の科目の外に、家政、育児、保健と指定されている。授業時間については、表3に示すように、一日ならびに一月の最低時間を決め、勤務時間との合計時間の限度も規定されている。7項目の但し書きがあり、生産状況によっては多少授業時間を減らすこともあることも示唆されている。なお、一直とは、2交代ないし3交代の場合の一番早い時間帯である。

夜間学校の場合も週に一度は登校させるように

指導されている。また、授業時間の他に、体操、日光浴、体練の時間を設けるなど、生徒の健康管理にも配慮が見られる。

この記事が出されたのは、冬休み前であるが、続く記事の見出しは「冬休みは全廃し、勤労学徒は平常勤務」とあり、長期の休みは取らせてくれなかったこともわかる。

西・高田(2007)によれば、中島飛行機半田製作所に動員された男子学徒や女子学徒の証言や手記を読んでも「仕事はつらい」はあっても「労働時間」や「残業時間」に対する不平や苦情は書かれていないので、労働時間はほぼ守られていたのではないかと指摘されている。今から考えれば、随分と長い労働時間のようなものであるが、当時の一般労働者の標準労働時間が一日10時間程度であったことを考えれば、それほど無茶な労働時間を強いていた訳ではないようである。ただし、戦争の激化とともに過度な増産が要求され、徴用工を中心に徹夜勤務が増えたという証言もある[蘆澤(2007)]。工場ごとにどのような時間編成で行われたかなど、実態は必ずしも明らかではない。中島飛行機半田製作所の場合については武村(2025)に詳しく述べられている。

なお、日本で、法律として8時間労働が規定されるのは、1947(昭和22)年施行の労働基準法の成立からである。また、世界では、1919(大正9)年のILO(国際労働機関)第1回総会で採択されたILO第1号条約で、労働時間が1日8時間及び1週48時間を超えてはならないことが規定されているが、残業や休日出勤に甘い日本はいまだにこの条約を批准していない(2025年)。長時間労働の問題は、戦時中どころか、日本が世界的に遅れている

現代における問題でもある。

### 3.4 空襲など労災に対する補償

1944(昭和19)年5月の「動総11号」の「工場事業場等学徒勤労働員受入側措置要綱ニ関スル件」に弔慰金基準が示されており、「業務外死亡の場合 300円」で「業務上の死亡の場合 500円」とある。500円は、現在の価値に直すと、およそ150万円から300万円位だろうか。

また、昭和19年の12月ころより、本土空襲が激しさを増し、それを受けて12月12日付で政府は「戦時災害時ニオケル給与等取扱ニ関スル通牒」を地方長官(知事)に発したという記事が中部日本新聞第1面(昭和19年12月13日)に掲載されている。その中に弔慰金という項目があり、「事業主の指示で作業中に戦時災害で死亡した場合には、会社所定の弔慰金の規定が有る無しに係らず最低500円を支払うこと。」とされている。続けて「防空勤務従事者や警備勤務従事者などの特別の勤務従事者に対しては1,000円を下回らない額を加算すること。」とし「事業主が全額保険金を負担して戦争死亡保険に加入している場合は、特別従事者の保険金が一般勤務者の保険金を上回る差額を加算額に代えることができる。」とある。最後の一文は、労働者が作業中に空襲で命を落とした際には弔慰金だけでなく、保険金が支払われていたことを示唆している。

さらに、昭和19年12月17日の中部日本新聞第2面(社会面)に興味ある記事を見つけた。「空襲殉職に弔意見舞金」という見出しの記事である。冒頭に「敵機の爆撃で殉職あるいは負傷した産業戦士や勤労学徒の霊に報いるために、東海軍需監理部では東海地方行政協議会を始め各方面とも打合

表4 動員学徒と一般工員に対する空襲による死亡の場合の補償額

種類	学徒	一般工員	備考
600日分給料	1000円	1000円以上	学徒は中学校高学年相当で月給50円
戦時災害弔慰金	2000円	2000円	特別勤務従事者には別途1000円
戦争死亡傷害保険*	1000円	2-3000円	独身2000円、扶養家族あり3000円
勤労学徒共励金**	2000円		
(合計)	6000円見当	5-7000円	

\*昭和18年3月制定の「法律第7号 戦争死亡傷害保険法」に基づく保険

\*\*勤労学徒共励金については12/17時点で愛知県のみ決定済。他東海3県は順次決定予定

せて弔慰金、見舞金の標準を決定した。」と書かれている。地方行政協議会は、昭和18年6月の「地方行政協議会令」に基づき、各県長官（知事）や地方行政機関のトップで構成される行政の総合連絡調整を図るための組織である。記事では具体的に、工員や動員学徒の空襲による死亡時（または負傷時）に支払われる補償金の内訳と額が示されている。死亡時の場合を表4にまとめた。

学徒、一般工員ともに支払われるのは、600日分（約20ヶ月分）の給料、戦時災害弔慰金、戦争死亡傷害保険である。給与はもちろん事業所が負担するもので、戦争死亡傷害保険は保険会社から支払われるものと思われる。一方、戦時災害弔慰金については支払い元はよく分からない。

戦争死亡傷害保険は法律第7号として昭和18年3月に定められた「戦争死亡傷害保険法」に基づく保険である。掛け金の全額を全ての事業主が負担していたかどうかは定かではないが、先に表2で示した賃金から控除される項目にも出てこないし、学徒の場合は健康保険料まで事業主の全額負担であったことを考えると、一般的には事業主が全額負担していたのではないと思われる。なお、最後にある勤労学徒共励金については表にも示すように、記事が書かれた12月17日時点では、愛知県のみが決定済で、他の東海3県（三重、岐阜、静岡）は順次決定予定と注釈付きである。死亡時の補償を合計すると、学徒は6,000円見当、一般工員は特別従事者で扶養家族がいる者は7,000円、その他は5,000円となる。6,000円は現在の金額で1,500万円から3,000万円となり、それなりの額であることがわかる。なお、記事には最後に「工場付近居住者のうち爆撃で死亡した者には一人当たり50円ずつの香典をおくる。」ともあり、軍需工場の近隣住民に対する多少の配慮もあったようである。

なお、12月13日の中部日本新聞第2面（社会面）に、県議会議員でつくる愛知県政調査会で当時の愛知県知事である吉野信次はじめ県の関係部長から県議会議員に対し説明された震災復旧対策の方針が掲載されている。その中で勤労学徒の死亡者には県内の学徒については共助事業から一人当たり2000円、県外のものには1000円の弔慰金を贈呈し、葬式は戦死者に準じて校葬を行うとされている。これが表4の戦時災害弔慰金に当たるものかもしれない。

西・高田(2007)では、中島飛行機半田製作所における昭和19年11月24日に本社総務部発の「空襲時特別取扱内規其の他にに関する件通牒」を紹介し、その中で、空襲時に死傷した時の見舞金として、一

般工員は最低5,000円、動員学徒は6,000円（ただし低学年は減額）であるとしている。これらの額は表4と一致する。12月17日の記事の冒頭で、「東海軍需監理部が東海地方行政協議会を始め各方面とも打合せて・・・」と書かれていることから、新聞に発表する以前に、行政だけでなく、各方面すなわち軍需工場を経営する事業者とも相談し、中島飛行機半田製作所ではその結果を先取りして内規を定めていたのではないと思われる。

西によれば、この内規は12月7日の東南海地震による工場の犠牲者にも適用されたということで、死者154名すべてに適用されたとすれば、現在のお金で総額、数十億円が支払われたことになる。

被害から何日後にどのような形で支払われたかはよく分からないし、統制経済の中で、買えるものが少ない時代にお金がどれほど役に立ったかわからない。また終戦で貨幣価値が一気に下がり預金の価値がほとんどなくなるという状況もあり、何とも言いえないが、これを見る限り、それなりの補償制度があったことは事実である。

#### 4. 生産能率と地震による影響

ここまで、戦時下の政府による労働統制の変遷と軍需工場における労働者の待遇について述べてきたが、このような制度の下で果たして、軍需工場における生産性に問題がなかったかを、主に高橋(1988)をもとにまとめた。本書は題名が示すように「中島飛行機の研究」であり、軍需工場のうち大きなウェイトを占める航空機関連の軍需工場の状況を中心にまとめたものである。

当時の軍需工場における問題を整理した上で、東南海地震による軍需工場の被害のもつ意味をあらためて考えて見たい。

##### 4.1 日本の軍用機空機生産の問題点

1941（昭和16）年の太平洋戦争開戦時から1945（昭和20）年の終戦までの、軍需工場における航空機生産の推移を、日本、ドイツ、米国で比べた結果が表5である。表5は高橋(1988)に掲載された表2-6の航空機生産高と表2-7の航空機生産能率の表をもとに作成したものである。

航空機生産能率というのは、労働者1人が1日あたりに生産する機体の重量として示されたもので単位はポンド(0.454kg)である。表の右側に日本を基準として見たときのドイツと米国の比率を示している。機数も生産能率もどの年もすべて1以上で、日本は米国だけでなくドイツと比べても劣っていたことがわかる。そもそも、米国の航空機生産量は開戦時からすでに日本の4倍近くあり、日本も1941年(5,088機)から1944年(28,180

表5 日、独、米の航空機生産数と生産能率の推移。  
高橋(1988)をもとに作成

年	A 日本	B ドイツ	C 米国	B/A	C/A
1941	5,088	11,766	19,433	2.3	3.8
(生産能率)	0.63	1.15	1.42	1.8	2.3
1942	8,861	15,556	49,445	1.8	5.6
(生産能率)	0.63	1.30	1.88	2.1	3.0
1943	16,693	25,527	92,196	1.5	5.5
(生産能率)	0.71	1.50	1.88	2.1	2.6
1944	28,180	39,807	100,752	1.4	3.6
(生産能率)	0.71	1.25	2.76	1.8	3.9
1945	(データなし)			—	—
(生産能率)	0.42	—	2.36	—	5.6
合計機数	58,822	92,656	261,826	1.6	4.5

\* 生産能率 (各年7月) :労働者1人1日当たりの機体生産量 (ポンド)

機) にかけて機数では 5.5 倍も生産量をあげているが、米国も 19,433 機から 100,752 機と 5.1 倍に増やしており、生産機数の差は開く一方であった。

もう一つ、注目すべきは、日本の生産能率の低さである。生産機数が最も多くなる 1944 年時点を見ると、ドイツは約 2 倍、米国は日本の実に約 4 倍の生産能率を示していることがわかる。つまり、日本は米国に対して同じ量の飛行機を造るのに 4 倍の労働力を費やしていたことになる。先の生産機数の差と考え合わせれば、ほぼ同じ人数で米国は日本の 4 倍の生産機数を達成できていたということになる。

このような差は、両国の国力の差、すなわち資源、資材、技術の差に由来していることはもちろんであるが、元来、日本が労働力に恵まれていたことが裏目に出た結果ではないかとも考えられる。従来、潤沢な熟練労働力に支えられてきた航空機を生産体制は、戦争が始まったからと言って急に換えることができず、熟練労働者が次々に徴兵され、数合わせで戦時動員された徴用工や動員学徒など素人集団にとって変っても、抜本的な生産体制の見直しがなされないままに、終戦まで、ひたすら生産にあたったというのが実情であろう。

#### 4.2 徴用工や動員学徒の勤務実態

それでは、日本の軍需生産の頼みの綱であった労働者の勤務実態はどのようなものであったのか。高橋(1988)によれば、徴用工は 1941 (昭和 16) 年 8 月の第 1 次で 57,257 人が徴用され、以来 1944

(昭和 19) 年 2 月の第 20 次までで総計 197 万 3,129 人にのぼった。2.4 で述べたように、1942 (昭和 17) 年 8 月から工場建設をはじめ、未完のまま、1943 (昭和 18) 年 12 月 8 日に初号機を飛ばした中島飛行機半田製作所でも、同月から徴用工が入職している[武村(2025)]。徴用は元々、徴兵と同じく「国民奉仕」との位置づけから、強制的な転廃業をも含むものであり、建前は別として、心からこれを喜んで受け入れる者はいなかった。それをさらに助長したのが、ますます逼迫する食糧事情であり、十分な食事も与えられない状況下で、働かされる人々に笑顔はなく、無気力な表情のものばかりが働く状況が軍需工場の姿だったようである。当然、工場内は不潔で整理整頓もままならなかった[高橋(1988)]。

また、給与についても当初は賃金統制による賃金総額制限によって低く抑えられ、欠勤した場合は、1 銭の収入もないという有様であった。政府も 1942 (昭和 17) 年には重要事業場では賃金統制を廃止するようにしたが焼石に水であった。賃金の問題については 2.3 でも指摘した。このため、徴用工の欠勤率は日ごとに増すばかりであった。もちろんあまりに欠勤が続くと、国民徴用令違反で検挙されるが、中島飛行機の本拠地である群馬県では、欠勤日数が 2 ヶ月、延べ日数が 90 日まで認められており、それほど厳しい水準のものではなかった[高橋(1988)]。

公の場での、徴用は兵士と同じで「名誉」「皇国勤労観」によって労働意識を高揚させるという建前と、徴用される身にとって大切な現実の生活維持との根本的ギャップが解消されないままに事態は悪くなる一方であった。そもそも、国が国民の労働に関与することで、徴用工の生活の責任を国家か企業のどちらが負うのかさえ曖昧なままに事態は推移していったのである。高橋(1988)には、1941 年から 1943 年の間に起こった徴用工のストライキの例が 4 例書かれ、氷山の一角であると指摘されている。そこまで積極的でなくても「一生懸命働かなければ徴用を解除してもらえらるだろう、悪い事をすれば解除になるだろう、出勤停止になればよい按配だ」など、消極的なサボタージュもあり、このような労働力をいくら補充しても生産能率があがるはずがなかった。

一方、1944 (昭和 19) 年 4 月から急増する動員学徒も、当初は、ひたすら純粋な気持ちで「お国の

ため」と働き、軍需生産を支えたが、1945（昭和20）年にもなると、空襲による死が現実化し、待避による損失時間、他の工員の欠勤、材料不足による作業の空白を目の当たりにして、戦局不利の認識が浸透する中で、次第に労働意欲は減退した。中でも若い彼らにとってひもじさは、労働意欲を失くす決定的要因であったと思われる[武村(2025)]。表5で、1945年7月の生産能率がひとときわ低いのがわかるが、空襲による影響だけでなく、そのことも要因の一つになっているように思われる。

#### 4.3 東南海地震による影響

東南海地震が発生した1944（昭和19）年12月7日は、戦時労働統制の変遷からも分かるように、徴兵によって多くの成年男子が出征するなかでの軍需工場における労働者不足の穴埋めを、高齢男子と中学生相当の年齢の子供たち男女で行って半年足らずの時期である。軍需工場での状況は、熟練工どころから働き盛りの工員のいない中で、様々な問題が噴出、爆発寸前であったことは想像に難くない。直前にはそれまで控えてきた中学校低学年や高等小学校の生徒まで動員せざるを得なくなっていた。

図3は、武村(2025)が、輸送機工業(2000)をもとに作成した、中島飛行機半田製作所で生産していた艦上攻撃機の天山と艦上偵察機の彩雲の生産機数の推移を示すグラフである。半田製作所では、天山のフル操業に入る1944（昭和19）年4月より

急激に生産数が増加し、6月以降、彩雲の生産も開始してその後緩やかに増加している。

そのような中で、東南海地震の影響は生産機数にも現われており、天山の生産数は12月には減少し、彩雲の生産数の増加も抑えられているのがわかる。その影響はこのあと述べる斎藤(1963)にも書かれている。ただし、グラフを見る限り、翌月には生産は増加に転じ、その後の急速な復旧によって1945（昭和20）年3月の総生産数は140機を越え、半田製作所の月間最高記録となった。このような状況から、西・高田(2021)は、「東南海地震では人的被害（死者154名）は顕著だが、軍用機の製造には大きなダメージはなかったようだ。」と述べている。

一方、地震の際に、中島飛行機の社員で半田製作所において製造部組立工場長を務めていた斎藤昇氏は、地震を受けた際の状況を以下のように述べている[斎藤(1963)]。

12月7日、震源地が当地の至近距離であった未曾有の大地震は、東海地区の全産業に大打撃を与えることとなった。工場建物の破壊、組立治具等の損傷甚だしく、之が修復に1ヶ月以上を要したが、協力工場の損害もまた量産の隘路となって完成機体の搬出に重大な影響を来し、実に致命的な打撃であった。

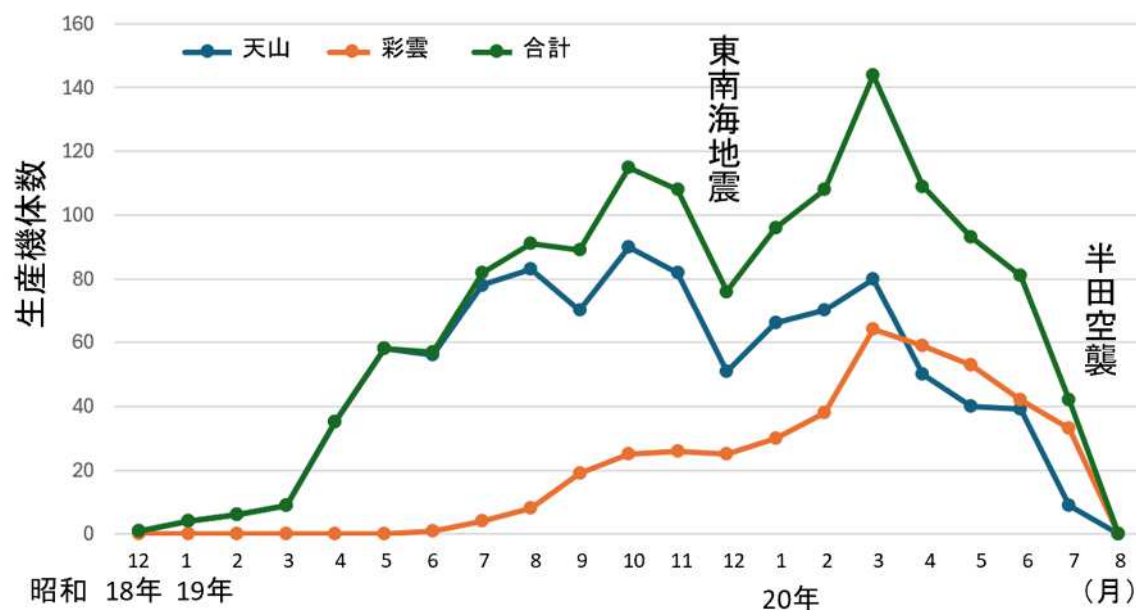


図3 中島飛行機半田製作所における天山と彩雲の生産状況の推移[武村(2025)より]

そしてさらに「戦局の危機を思い私も“これで戦争は負け”と思った程であった。」とまで述べている。筆者は、当初図3を見て、「これで戦争は負けた」というのは、ちょっと大げさではないかと思っていたが、本稿で明らかにしてきたように、地震時に置かれていた軍需工場の状況を見れば、至極もつともな感想であると確信した。

一部繰り返しになるが、昭和19年4月から動員学徒が大量に工場に入り、8月からは高等小学校を含む低学年の子供たちの動員もはじまり、すでに工場に動員されていた元々あまり働く意欲のない徴用工に交じって航空機製造に当たっていた。もちろん、生産能率は上がらず、一方で戦局悪化に比例して飛行機の政府発注数は増える一方で、9月以降、生産数と発注数の差は拡大する一方になる[高橋(1988)]。ちなみに半田製作所で生産した飛行機は全部で1,357機と、政府発注数の2,411機に対して全期間を通じて56%しか達成されていない[半田市(1989)]。

さらに、中島飛行機のエンジン工場であった東京の武蔵野製作所がB29による第一回目の大空襲を受けたのが、11月24日、さらに12月3日には第二回目の空襲を受けている。武蔵野工場は中島飛行機のみならず、日本全体においてもまた最も重要なエンジン工場であった[高橋(1988)]。おそらく、武蔵野製作所の惨状は中島飛行機の幹部であった斎藤の耳にも入ってきていたに違いないし、半田製作所もいつ空襲に襲われるか分からないとひしひしと感じたに違いない。このような状況の中、12月7日に発生したのが東南海地震であった。斎藤氏ならずとも「これで戦争は負けた」と思っても当然のように思われるのである。

## 5. おわりに

地震による被害の大きさは、死者数や建物の被害数だけでは判断できない。地震発生時の社会的状況が大きく影響する。1944(昭和19)年の東南海地震は、戦時中のしかも、戦況が悪化する中での地震であり、その傾向はより強いように思われる。なかでも、戦況に大きく影響する軍需工場の被害については、被害そのものが伏せられていたために、全容はいまだに明らかではなく、今後も調査が必要である。

同時に、社会的影響を考える際には、当時の軍需工場が置かれていた環境の理解も必要で、戦争のために理不尽に国民を働かせ搾取していた組織というような解釈だけでは、正確な評価はむずかしい。東南海地震で軍需工場が壊滅的被害を受けて、戦争終結を早める原因となったというような言い

回しには、なにか、天が理不尽に戦争をすすめる国民を苦しめる国や軍部にたいして罰を与えたかのようなニュアンスを感じるのには、筆者だけではあるまい。

戦後80年が過ぎ、戦争を体験した人々が減る一方で、様々な理由からいままで明らかになっていなかった資料も見つかり、また長年、多くの人々の努力によって続けられてきた調査結果も蓄積されつつある。これからが東南海地震に対する研究の本番と思い、筆者も研究を進めている。

本稿では、戦時労働統制の末に出来上がった軍需工場の労働環境と工場が抱える問題を理解することによって、その中で起こった東南海地震の被害の意味を多少なりとも明らかにすることができたと考えている。当時、どこの軍需工場でも同じような問題を抱えていたものと思われ、地震の被害を目の当たりにして、それぞれの工場で、半田製作所の斎藤昇氏と同じような感想を持った工場関係者も多かったのではないかとと思われる。その意味で、物的被害にも増して、この地震が工場関係者に与えた精神的ダメージも大きかったように思われる。

## 謝辞

本稿の趣旨を理解し、分量が多い資料的、総合的な論文を発表する場が少ないなかで、拙文の掲載を許可していただいた日本物理探査株式会社の内田篤貴社長に心より感謝申し上げます。

なお、本研究は中部電力(株)の御支援を受けて行いました。

## 参考文献

- 1) 蘆澤俊一, 2007, 中島飛行機半田製作所の建設から終焉まで, 別冊はんだ郷土史だより(はんだ史だより編集委員会), 9-55
- 2) 中日新聞社会部, 1983, 恐怖のM8: 東南海地震, 三河大地震の真相, 中日新聞本社, 全506頁
- 3) 半田空襲と戦争を記録する会, 1995, 第一部 半田と戦争, 『半田市誌別巻 半田の戦争記録』半田市, 1-142
- 4) 半田市, 1989, 第四章 半田市の成立と戦時体制, 新修半田市誌(本文編中巻), 394-475
- 5) 法政大学大原社会問題研究所, 1964, 別巻 太平洋戦争下の労働者状態, 日本労働年鑑 <https://oisr-org.ws.hosei.ac.jp/about/sogoannai/>
- 6) 一般社団法人 日本職業協会, 第4章 昭和時代 (1) (戦前, 戦中期) 戦時労務統制, 「職業安定行政史」, <http://shokugyo-kyokai.or.jp/shiryu/gyouseishi/04-3.html>
- 7) ジャパンアーカイブズ(1850-2100), 女子挺身隊, 勤労働員(求人要領), 潮流(昭和19年), 時代の記憶(近現代), ヒストリー, <https://jaa2100.org/entry/detail/030083.html>

- 8) 国税庁, 3 源泉徴収制度の導入—昭和時代, 租税資料「約束の期限を守って納税してもらうために～明治から今へ・時代とともに」  
<https://www.nta.go.jp/about/organization/ntc/sozei/tokubetsu/h26shiryoukan/03.htm>
- 9) 三輪宗弘, 2023, 大阪府「工場事業場等学徒勤労働員ノ報償取扱細目」, 九州大学学術リポジトリ, 95-105
- 10) 文部科学省, 三. 戦時教育体制の進行, 「学制百年史」  
[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/others/detail/1317693.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1317693.htm)
- 11) 文部科学省, 学校系統図, 「学制百年史」資料編  
[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/others/detail/1318188.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1318188.htm)
- 12) 名古屋大学減災連携研究センター, 2019, 昭和19年東南海地震, 全188頁
- 13) 西まさる・高田みのり, 2021, 戦時下の東南海地震の真相—中島飛行機半田製作所を中心に, 新葉館出版, 全217頁
- 14) 斉藤昇, 1963, 中島飛行機の思い出 半田製作所時代 1. (昭和19年1944年), 半田製作所時代 2. (昭和20年1945年), 輸送機工業社内報  
<https://www.ne.jp/asahi/airplane/museum/nakajima/naka-cont.html>
- 15) 高橋泰隆, 1988, 中島飛行機の研究, 日本経済新聞社, 全302頁
- 16) 高崎宗司, 1999, 半島女子勤労挺身隊について, 「慰安婦」問題 調査報告・1999, 財団法人女性のためのアジア平和国民基金刊, 41-60
- 17) 武村雅之, 2019, 昭和東南海地震の慰霊碑調査—地震・空襲と慰霊, 中部「歴史地震」研究年報, 7, 97-130
- 18) 武村雅之, 2025, 1944年東南海地震による中島飛行機半田製作所の被害の真—軍需工場に対する誤認を改めるために, 中部「歴史地震」研究年報 (投稿中)
- 19) 武村雅之・北原糸子, 2023, 関東大震災: 1923年, 東京は被災地だった, 東京防災救急協会, 全135頁
- 20) 武村雅之・虎谷健司, 2015, 1944年東南海地震の広域震度分布の再評価と被害の特徴, 日本地震工学会論文集, 15, 7, 2-21
- 21) 竹内雄幸, 2007, 新たに発見, 誤った概念を記す, 中島飛行機半田製作所の関連資料, レポートの感想, 別冊はんだ郷土史だより (はんだ郷土史だより編集委員会), 122-123
- 22) 輸送機工業 (株式会社50年史編纂委員会), 2000, ユソーキ新しき創造—輸送機工業株式会社五十年史, 輸送機工業, 全真200頁
- 23) Wikipedia, 徴用  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%BE%B4%E7%94%A8>
- 24) Wikipedia, 女子挺身隊  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%A5%B3%E5%AD%90%E6%8C%BA%E8%BA%AB%E9%9A%8A>

付録1 戦時労働統制の変遷(年表)。下線は本文中で特に軍需工場への勤労働員を促進したと指摘した法律や政府からの通牒

**1937 (昭和12) 年7月7日 盧溝橋事件(日中戦争勃発)**

- 1937 (昭和12) 年9月、国民精神総動員運動が始まる
- 1938 (昭和13) 年7月、中央に産業報国連盟ができる
- 1938 (昭和13) 年5月、国家総動員法施行
- 1938 (昭和13) 年8月、文部省が「集团的勤勞作業運動実施ニ関スル件」を通牒。
- 1939 (昭和14) 年1月、国民職業能力申告令制定による登録制実施
- 1939 (昭和14) 年7月、国民徴用令施行
- 1939 (昭和14) 年7月、閣議決定「昭和十四年度勞務動員実施計画綱領」
- 1940 (昭和15) 年10月、国民職業能力申告令改正、「青年国民登録制」実施
- 1940 (昭和15) 年10月、国民徴用令改正
- 1940 (昭和15) 年11月、大日本産業報国会(産業報国連盟吸収)成立
- 1941 (昭和16) 年8月、文部省の指示で学校報国隊が結成
- 1941 (昭和16) 年10月、国民職業能力申告令改正、「青壮年国民登録制」実施
- 1941 (昭和16) 年10月、大学・高等専門学校の在学または修業年限が6か月短縮
- 1941 (昭和16) 年11月、国民勤勞報国協力令公布

**1941 (昭和16) 年12月8日 ハワイ真珠湾攻撃(太平洋戦争開始)**

- 1941 (昭和16) 年12月、国民徴用令再改正
- 1942 (昭和17) 年2月、重要事業場勞務管理令
- 1942 (昭和17) 年9月、日雇い労働者を対象とする勞務報国会を府県毎に設立
- 1943 (昭和18) 年6月、国民勤勞報国協力令改正、勤勞報国隊の常時組織化
- 1943 (昭和18) 年6月、閣議決定「学徒戦時動員体制確立要綱」
- 1943 (昭和18) 年7月、国民徴用令施行再々改正(すべての制約が撤廃)
- 1943 (昭和18) 年9月、次官会議決定「女子勤労働員ノ促進ニ関スル件」
- 1943 (昭和18) 年10月、「常盤会勤勞挺身隊」を結成(最初の女子勤勞挺身隊)
- 1943 (昭和18) 年11月、厚生省発表、学校単位で女子勤勞挺身隊を結成させる
- 1943 (昭和18) 年12月、朝鮮総督府は勞務課を設置し「女子も工場で働かせる」方針決定
- 1944 (昭和19) 年2月、閣議決定「決戦非常措置要綱」
- 1944 (昭和19) 年3月、閣議決定「決戦非常措置要綱ニ基ク学徒動員実施要綱」
- 1944 (昭和19) 年2月、国民職業能力申告令改正
- 1944 (昭和19) 年3月、閣議決定「女子挺身隊制度強化方策要綱」
- 1944 (昭和19) 年4月、半島女子挺身隊が初めて、静岡の東麻工場に動員
- 1944 (昭和19) 年6月、半島女子挺身隊が名古屋の三菱航空機道徳工場へ動員
- 1944 (昭和19) 年8月、学徒勤勞令(学徒勤労働員)施行
- 1944 (昭和19) 年8月、女子挺身勤勞令公布、即日施行
- 1944 (昭和19) 年8月、国民徴用令を朝鮮で施行
- 1944 (昭和19) 年10月、朝鮮総督府が女子挺身勤勞令を適用しないと答弁「国民徴用の解説」
- 1944 (昭和19) 年12月7日 東南海地震発生**
- 1945 (昭和20) 年3月、国民勤労働員令成立 女子勤勞挺身隊は国民義勇隊と名称変更



付録2 大阪府「工場事業場等学徒勤労働員の報償取扱細目」の目次

**甲 出勤学徒に関する事項**

- 一、報償の算定
- 二、報償の経理
- 三、報償経理の特例
- 四、中等学校低学年（第一、二学年）生徒及国民学校高等科児童に対する報償

**乙 派遣責任教職員等に関する事項**

- 一、受入側負担経費
- 二、教職員謝金の経理【(貰った五十円の処置)】
  - \*50円は受入側から支払われる派遣責任教職員の1人あたりの謝金

**丙 特別会計の経理に関する事項**

- 一、特別会計の経理
  - \*報国団費の使い道
- 二、特別会計の報告
  - \*保護者への報告義務の規定

**丁 その他の事項**

- 様式第一ノ（一） 学校報国団がまとめるべき学徒勤労働の一般会計の経理簿様式
- 様式第一ノ（二） 学校報国団がまとめるべき学徒勤労働の特別会計の経理簿様式
- 様式第二、一、出勤学徒ごとの基本報償、特別手当
  - 二、派遣教職員ごとの勤務時間とそれに応じた謝金など
  - 三、派遣教職員ごとの諸手当

## 付録3 発第二 955 号「女子勤労働員の促進に関する件通牒」の要約

女子勤労働員協議会の設置

地方長官（東京都は警視総監）を会長として、警察、内政の課長、市長、女子中等学校校長  
大政翼賛会、大日本婦人会、大日本青少年団の代表で構成  
(協議決定事項)

1. 女子勤労働員の啓発
2. 女子勤労働挺身隊結成の指導
3. 派遣先事業所の選定
4. その他必要事項

女子勤労働挺身隊の組織

女子中等学校卒業者については当該学校単位として学校長の指導の下に同窓会の活動による  
国民学校修了者については、女子青年団などを中心に町内会、部落会、婦人会の協力により組  
織する。隊は原則 20 名以上 50 名以内で移住地の近接などの条件で結成。隊長、班長を選定。  
隊員は未婚女性で結婚すれば離隊する。

隊の名称 何々女子勤労働挺身隊

出動期間 1年から2年

勤労働報隊との関係

勤労働報隊に参加するものは概ね学校在学者、有業者ならびに女子勤労働挺身隊に参加し難いものとする。

勤労働管理

- ・ 隊員はなるべく同一職場で勤労働させる。
- ・ 作業指導者を設けて指導する。
- ・ 作業指導には女子の補助員を考慮する。
- ・ 勤務時間は当初は概ね 8 時間程度とし、休日についても特に考慮する。
- ・ 賃金はなるべく月給制とする。
- ・ 寄宿隊員は専用の寄宿寮に収容する。
- ・ 寮生活においては家事業務を行わしめ、女子として必要な修養を積ませます。
- ・ 給与は賃金統制令に定める所による

# 露天掘り鉱山で操業する各種重機の死角エリア測定システムの開発 および死角減縮法について

- 運転手の死角による認知視界の向上にむけて -

加藤 弘太<sup>1)</sup>

1) 日本物理探鑛株式会社 関東支店技術第二部

## 1. 研究背景

国内における鉱山災害のうち、死亡につながる重大災害においては、重機関連の事故が約7割を超えている。主な事故原因としては、作業員の巻き込みや重機の墜落などが挙げられる。以下の図1.1に経済産業省鉱山・火薬管理官付が調査した事件別罹災者の割合を示した。これによると、墜落事故が24%、運搬作業者の事故が10%等、重機関連の事故が半数以上を占めていることがわかる。また、労働災害発生数の推移(図1.2)をみると、平成3年から平成16年まで、災害数に減少傾向が見られたが、平成16年から26年までの10年間は減少していないことがわかる。以下に表1.1に採石業、全産業、建設業における死亡災害発生割合を示した。全産業のうち、採石業における休業4日以上の死傷災害のうちの死亡災害の発生割合の高さが目立っており、採石業における死亡災害の減少は重要課題である。

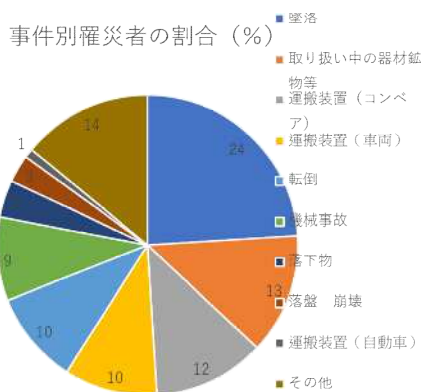


図1.1 事故別罹災者の割合(経済産業省 鉱山・火薬管理官付)

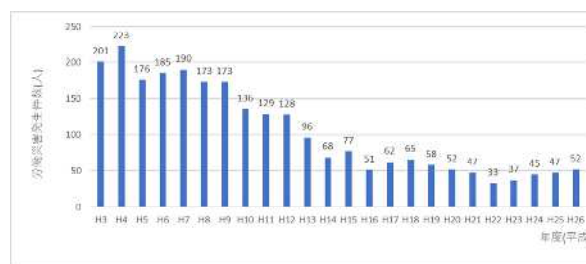


図1.2 近年の鉱山労働災害発生数(経済産業省 鉱山・火薬管理官付)

表1.1 業種ごとの死亡災害発生割合

	休業4日以上死傷災害(人)	死亡災害(人)	死亡災害発生割合
採石業(H16-26)	626	61	9.7
全産業(H26)	119,535	1,057	0.9
建設業(H26)	17,184	377	2.2

採石業における死亡災害のうち、機械関連の災害が大きくかかわっている。平成16年から26年の間、死亡災害は61件発生したが、そのうち、機械関連の災害数は45件であり、全体の約74%となる。これらの事故の主な原因として、重機の死角が挙げられる。死角によって、発進時に作業員を巻き込む、バック時に作業員を巻き込む、機体同士の接触が多く起きている。1997年から2007年における重機関連の事故の要因を以下に示した。

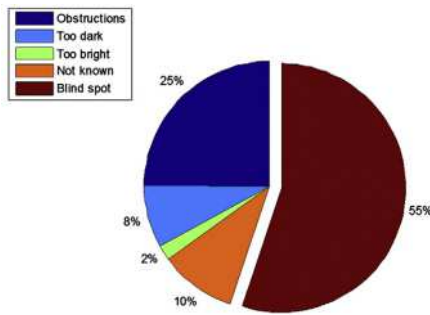


図 1.3 死亡原因 (1997-2007)

これより、死亡事故の原因の 55%が死角（運転席から見えないエリア）であることがわかる。そのため、これら死角を低減するために、ミラーやサラウンドビューモニター、バックモニターなどによって、周囲の死角を低減する方法が模索されてきている。しかし、実際に重機の事故を減らすには、周囲の視界やミラーなどに移っている情報を人間が認識する必要がある。つまり、ミラー等によって拡大された視野を人間が情報処理しない限り効果はない。現状、これらの周囲の情報に対して人間がどの程度認知できるかの検討はされておらず、実際に重機の事故を減らすには人間の認知力を確かめる必要がある。

加えて、先述の図 1.2 の通りミラー等の情報拡大に対し、事故件数が減少していない傾向が続いている。

今回、拡大された視野に対して、人間がどの程度認知することができるのか、認知科学の観点から研究を行った。

人間は物理的な視野として視界に入ったものを全て感覚記憶として保存する。感覚記憶は約 0.5～1 秒程度しか保持できないものである。実際に人間が見たものを操作に移すためには、死角からの情報を短期記憶へ保存する必要がある。短期記憶は、人間が認知できる視野であり、感覚記憶から人間が注意を向けたもので 5 秒以上記憶として保持ができる。感覚記憶から短期記憶へと記憶が変化しなければ、人間は行動に移せないため、周囲の確認には短期記憶への変化が必須となる。つまり、人間が実際に事故を減らすには、拡大された視野の中で、目に映った情報のうち、人間が認知できたものと視界に移ったが認知されずに処理された情報の違い比べ、認知力（感覚記憶から短期記憶への変化条件）を調べる必要がある。

従来の研究によって、死角の判定方法や減縮方法についての検討がされた。しかし、先述の通り、近年

では事故が減少しない傾向が続いている。そこで人間の認知力の限界、感覚記憶から短期記憶へと変化するための条件を調べ、重機を安全に出発させるために必要な周囲確認時間を調べた。

また、運転手の視力が捉える感覚記憶の視界の範囲とその感覚記憶が行動に結びつく短期記憶へと変化した視界の範囲とを比較し、視力の感覚記憶が短期記憶へと変しやすい条件を明らかにすることを今回の目的とした。

具体的には、重機の運転席から 360 度カメラで撮影した障害物の映った視界画像を用いて、被験者の動画確認時間と画像に移る障害物の記憶との関係を明らかにする。

## 2. 研究理論

### 2.1 記憶のメカニズム

人間は視覚や聴覚、触覚などの外部情報を一旦感覚記憶としてすべて保存する。

感覚記憶とは、視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚などの感覚器官ごとに存在する記憶メモリのことである。また、保持可能時間が非常に短く 1 秒未満とされており、感覚記憶の情報の大半は瞬時に破棄されてしまう。しかし、視覚において、この感覚記憶は瞬間的に入力された（物理的に見えた）全ての情報を保持することができる。感覚記憶として保持された記憶の大半は 1 秒未満で記憶から消去されるが、人間が注意を払ったもの（認知したもの）に対しては短期記憶として保存される。

この短期記憶は一時的な記憶の保管庫として、10 秒から 10 分程度保持ができるが、すべての感覚記憶を短期記憶へと移すことはできないが、短期記憶へと移すことができた記憶は、人間が注意（認知）を払ったものであり、記憶に対して、実際に人間が行動を起こせるものである。

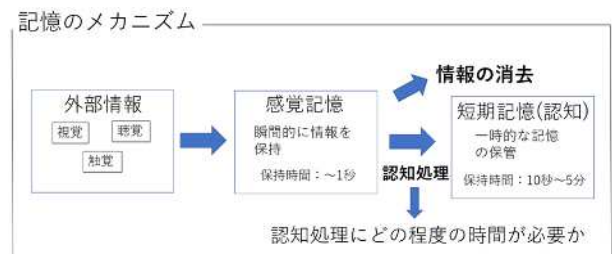


図2.1 記憶のメカニズム

### 2.2 360度カメラの利用

今回の実験では、重機の周りに障害物（コーン）を設置し、運転席から撮影することによって、障害物の映った360度動画を作成し、被験者に視聴させ、コーン位置を解答させることによって、認知処理

の条件を調べる。

本研究に用いた360度カメラは RICOH THETA V (図2.2) である。

今回の研究において専用アプリ (RICOH THETA) により, iPadから遠隔で撮影する。今回の実験では, 障害物の映った360度動画を被験者へ視聴させる。具体的には, 運転席視点の360度画像を撮影し, 運転席真正面をスタートとし, 右方向へ景色を流し, 後方, 左側へと流れ運転席正面へと, 視界が移り変わる動画を撮影する。これによって, 運転席視点における周囲すべての景色と障害物の映った動画を作成することができる。また, 重機の景色 (視界) をすべて見る事ができる動画を作る事によって, すべての障害物を被験者の視界に入れることができる。これを用いて, 被験者に障害物の映った周囲の動画を視聴させ, 認知の可否を調べる。



図2.2 360度カメラ (RICOH THETA V)

### 2.3 VRヘッドセットの利用

今回の実験ではVRヘッドセット (図2.3) を用いて被験を行う。以下3.1の通りに作成した画像を RICOH THETAアプリ (THETA+) を用いて, 左右に微妙なずれのある2眼画像 (図2.4) に編集し, VRヘッドセットを用いることによって, 映像を3D化してみる事ができる。これにより, より現実 (実際の重機の中) に近い映像を被験に用いることができる。

また, 被験用動画の視聴後, パワーポイントをVRヘッドセットから操作をして解答させることができ, 且つ, PCと接続して遠隔操作も可能である。



図2.3 VRヘッドセット oculus quest2



図2.4 2眼化 (3D化) された画像例

## 3. 研究手法

今回の測定に用いた重機は油圧ショベル 320 (写真 3.1) である。



写真 3.1 油圧ショベル 320

### 3.1 被験用動画作成

被験用の動画作成手順を以下に示す。

- (1) 360度カメラを運転席に設置した。
- (2) コーンを非死角に距離および方位を考慮して5つ設置した。
- (3) 360画像を撮影した。
- (4) コーンを1つ外し, 残りのコーンの場所を変更し再度撮影した。

(5) (4) を繰り返し、コーンが1個から5個映っている5つの360度画像をそれぞれ作成した。

(6) 撮影した5つの画像をRICOH THETA専用アプリを用いて、それぞれ1周3秒, 4.5秒, 9秒の動画に編集し計15個の動画を作成した。

### 3.2 被験の手順

被験者への被験方法を説明する。以下に被験風景を写真3.2に示す。また、今回は25人の学生を対象に被験を行った。以下に被験者データを表3.1に示す。

以下に、被験手順を示す。

- (1) 被験者にVRヘッドセットを装着させ、ピントの調整, 操作方法の説明をした。
- (2) テスト用のコーンを設置していない動画を視聴させ, VR映像に慣らさせた。
- (3) コーン1個 (V1設置), 動画時間3秒の動画を視聴させた。
- (4) 視聴後, VR内にパワーポイントの解答用紙を映し, コーン位置を解答させた。
- (5) コーン1個, 動画時間4.5秒の動画を視聴させた。
- (6) (4) 同様に, 解答させた。
- (7) コーン1個, 動画時間9秒の動画を視聴させた。
- (8) (4) 同様に解答させた。
- (9) コーン数を2個 (V1, V2) 設置し (3) から (8) と同様に動画速度を遅くしながらコーン位置を解答させた。
- (10) (3) から (8) を繰り返し, コーン数を5個まで増やしながら被験を行った。

また、今回の被験では、コーン位置を正確に解答できた時の動画時間を正解動画時間 (認知時間) とし、コーン1個から5個までの認知時間を測定した。



写真 3.2 被験風景

被験者番号	年齢	運動	運転	大型車運転
1	22	サッカー	しない	しない
2	22	しない	しない	しない
3	22	しない	月1回	しない
4	22	しない	毎日	しない
5	22	しない	週1回	しない
6	22	陸上	月1回	しない
7	22	サッカー	毎日	しない
8	22	サッカー	月1回	しない
9	22	しない	免許なし	しない
10	22	陸上	毎日	しない
11	24	しない	毎日	しない
12	20	剣道	月1回	しない
13	20	剣道	月1回	しない
14	22	少林寺	しない	しない
15	21	しない	しない	しない
16	21	しない	しない	しない
17	22	しない	毎日	しない

表3.1 被験者データ

### 4. 結果

各被験者のコーン数毎の認知時間を図4.1に示した。この結果からコーン数が増えると、3秒での正答者が減り、9秒での回答者が増えることがわかる。実際にコーン数が1個の場合、3秒での回答者は14人であったが、コーン5個の時は6人と大幅に減っていることがわかる。

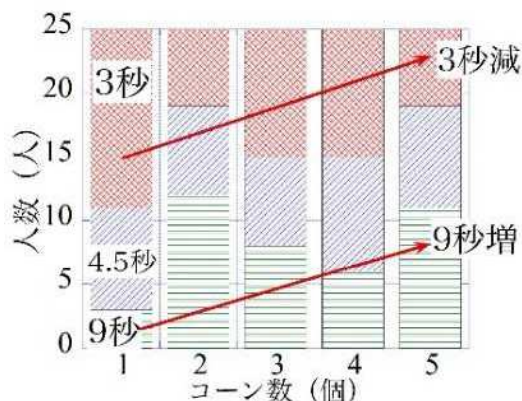


図4.1 コーン数ごとの正答時間

また、被験者毎のコーン1個～コーン5個における認知時間 (以下、平均認知時間と呼ぶ。) を平均化すると表4.1の通りとなった。平均認知時間において最速は3.3秒, 最遅は8.1秒, 平均5.4秒となった。

被験者番号	1個	2個	3個	4個	5個
1	3.0	3.0	3.0	9.0	4.5
2	9.0	9.0	9.0	4.5	4.5
3	9.0	4.5	3.0	3.0	4.5
4	4.5	3.0	9.0	4.5	9.0
5	3.0	4.5	9.0	3.0	9.0
6	4.5	3.0	3.0	4.5	4.5
7	3.0	4.5	9.0	4.5	3.0
8	3.0	3.0	3.0	4.5	3.0
9	4.5	9.0	9.0	9.0	9.0
10	3.0	9.0	4.5	3.0	3.0
11	3.0	9.0	4.5	4.5	9.0
12	4.5	4.5	9.0	4.5	3.0
13	9.0	9.0	3.0	3.0	9.0
14	3.0	4.5	9.0	3.0	4.5
15	3.0	9.0	9.0	9.0	9.0
16	4.5	9.0	3.0	3.0	9.0
17	3	9.0	4.5	9.0	3.0
18	3	9.0	3.0	9.0	9.0
19	4.5	3.0	4.5	4.5	4.5
20	3.0	9.0	3.0	9.0	9.0
21	3.0	9.0	4.5	4.5	4.5
22	3.0	4.5	3.0	3.0	3.0
23	4.5	3.0	3.0	3.0	4.5
24	3.0	4.5	4.5	3.0	9.0
25	4.5	9.0	4.5	3.0	9.0
平均	4.3	6.3	5.3	5.0	6.1

表4.1 コーン数ごとの正答時間

以下にコーン数毎の全被験者の平均認知時間を図4.2に示した. コーン2個の動画時に設置されたコーンは視認困難であったことが想定されるため, 除外して考えるとコーン数が増えると認知に必要な動画時間が伸びていることがわかる. コーン数をN, コーン数毎の認知時間をtとすると, 認知時間の増減は

$$t = 3.9 + 0.39N \quad (4.1)$$

で表される.

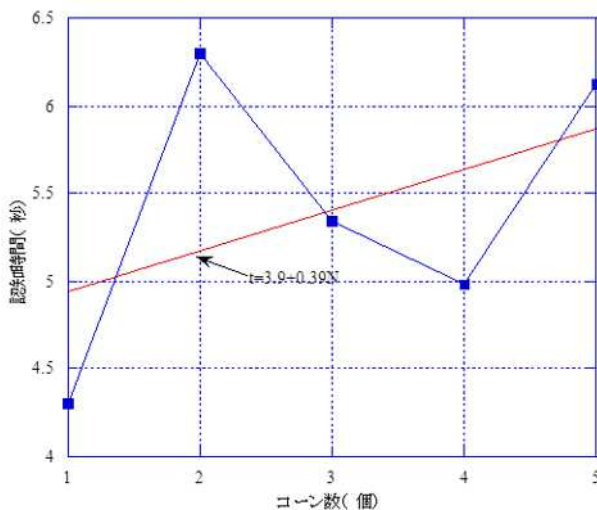


図4.2 コーン数毎の全被験者の平均認知時間

なお, 本実験においては, 動画時間を9秒に設定した場合, すべての被験者がコーンの位置を認知することができた.

## 5. 考察

### 5.1 視認困難点

本実験において, コーン2個を設置した場合での動画において, 認知に必要な時間が大幅に増えている. コーン2個を設置した場合の設置位置は下記の図5.1の通りだが, 重機の死角に囲われていることがわかる. この場合, 重機の死角に囲まれた場所等において, 視認困難点が存在することが考えられる.

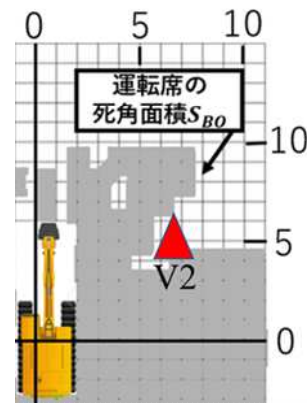


図 5.1 コーン設置位置

### 5.2 認知に必要な時間

本実験において, 25人の被験者の平均認知時間は5.4秒となった. また, 最速で3.3秒, 最遅で8.1秒とばらつきが大きいことがわかった. 下記の図5.2は全被験者の内, 全被験者の平均認知時間と運動部に所属している被験者の平均認知時間に分けたものである. この通り運動部に所属している場合, 動画上において物を認知するのに必要な時間は少なくなっていることがわかる.

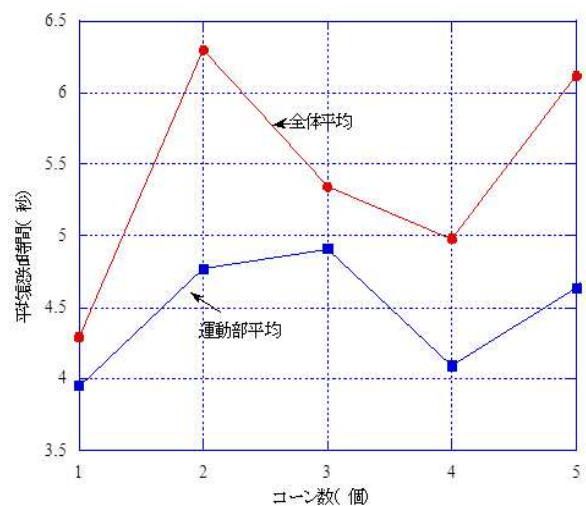


図5.2 コーン数毎の全被験者の平均認知時間 (運動部分離)

### 5.3 重機出発時に必要な時間

これらの実験によって、人間が物理的に視界に入れた情報である感覚記憶から、実際に人間が行動に移せる（認知できている）短期記憶へと変化できるように必要である時間は平均して5.4秒であることがわかった。本研究では、ミラーやカメラに頼らず、実際に周囲の景色に障害物を設置し、人間の認知力を測定した。実際には、周囲の目視での確認だけでなく、ミラーやバックモニター、アラウンドビューモニターなど、周辺に目視の視界だけでなく死角の確認も必要となる。周囲の視界の確認だけで5.4秒かかっており、さらに死角のミラー等による確認も必要であることから、ミラーなどの確認に同様に5秒以上かかると仮定した場合、大幅な時間がかかることが予想される。

また、実際の視界の確認では、障害物の種類は多岐に渡り、人が障害物となれば動くことは自明である。周囲の確認（5.4秒）→死角の確認（5.4秒）の順に周囲の確認を行えば、死角の確認中に周囲の確認で発見された障害物が動くことも考えられる。

よって、重機を安全に出発させる場合、短時間で周囲の確認を終えることは危険である。動く前に入念な周囲の確認、正確な周囲の把握につなげるには、数秒での周囲確認では不十分であることが本研究でわかった。また、障害物が動く（車、人など）ことがあるため、慎重に周囲を確認するだけでなく、周囲に障害物が無いよう、運転者以外においても協力が必要である。

#### 参考文献

- 1) 大島尚 1986年 ワードマップ 認知科学 新曜社
- 2) 魚津 宗 1997年 ドライバーの内的情報処理における視覚的記憶に関する研究 土木計画学研究
- 3) 日本キャタピラー合同会社320/320GC  
[https://www.nipponcat.co.jp/products/data/catalog/320catalog.pdf?\\_ga=2.76826581.1504948194.1643871438-1237535656.1614148546](https://www.nipponcat.co.jp/products/data/catalog/320catalog.pdf?_ga=2.76826581.1504948194.1643871438-1237535656.1614148546)
- 4) 才田善之 2015年 採石業における現場責任者能力向上テキスト 日本砕石協会



## 駿河湾の地震活動について

—2022年1月から2023年2月までに決められた震源の特徴—

井戸口 愛菜<sup>1)</sup> 望月 琢馬<sup>2)</sup>

1) 日本物理探査株式会社 技術本部

2) 日本物理探査株式会社 関東支店

### 1 はじめに

#### 1-1 本研究の目的と概要

駿河湾は日本で最も深い湾の一つであり、海底には駿河トラフが形成されている。駿河トラフはフィリピン海プレートが陸側のユーラシアプレートに沈み込むプレート境界の北端に位置し、地震活動が活発な地域であり西側は四国沖まで続いている。駿河湾から四国沖にかけての区域は東海地震の想定震源域の一部とされており(図 1-1-1 参照)、東海地震は過去 100 年から 150 年おきにマグニチュード(以下, M と記す)8.0 クラスの巨大地震を繰り返し発生させている(小山, 2008)。

ここ最近では、1854 年の安政東海地震が発生してから約 170 年間は大きな地震が起きていない。そのため駿河トラフではプレート境界でひずみが蓄積されており、いつ巨大地震がおきてもおかしくないとされている(中央防災会議, 2001)。

駿河湾周辺の地震観測点を見てみると、気象庁や大学機関等の観測点の多くは陸上にある(図 1-1-2)。海域にある観測点は御前崎沖から志摩半島沖にケーブル式海底地震計があるが、駿河湾内における小さな地震を精度よく観測することは困難である(青木ほか, 2003)。一方、東海大学では気象庁と共同で 2011 年 11 月から駿河トラフ沿いと石花海堆周辺に自己浮上式海底地震計(以下 OBS)を設置し、海底地震観測を行っている(馬場ほか, 2015)。

本研究ではつぎの手順で駿河湾の地震活動の特徴について考察した。(1) 2022 年 1 月から 2023 年 2 月の期間に気象庁と共同で行った地震観測から得られたデータを検出し、駿河湾で発生した地震の震源決定を行った。(2) OBS で決定した震源分布の特徴と過去の震源データを比較するために 2018 年から 2022 年までの 1 年間ずつの震源分布図を作成した。(3) とくに震源が多く決められた震源集中域の焼津・石花海北堆・波勝崎の 3 ヶ所について経年変化を検討した。(4) 2022 年の震源について気象庁震源と OBS 震源の比較検討を行った。

考察の結果、5 年間の駿河湾における地震活動に顕著な変化は見られず、想定されている駿河湾での東海地震につながる変化はないと結論づけた。



図 1-1-1

フィリピン海プレート沈み込みによるプレート境界地震の想定震源域と過去に発生した大地震の時系列(小山, 2008 より)

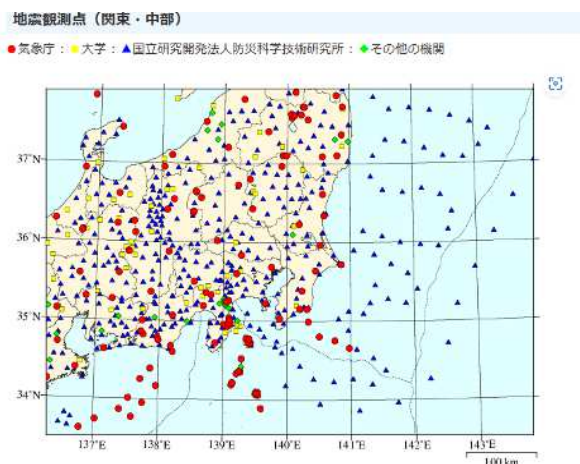


図 1-1-2

地震観測点(気象庁 HP より)

### 1-2 OBS による地震観測

OBS による地震観測について詳細を述べる。東海大学では、2011 年から現在まで OBS による海底地震観測を気象庁と共同で行っている。OBS による観測はバッテリー容量の関係で約 3 か月毎に設置・回収の作業を行っている。

本研究で使用した観測期間、観測点座標、水深を表 1-2-1 に示した。表 1-2-1 の赤色で示した観測点は、OBS の紛失または機器の不調等によりデータを取得できなかった観測点である。本研究期間である 2022 年 1 月から 2023 年 2 月までの観測点位置を図 1-2-1 に示す。

各観測点を黒色の星印で隣にアルファベットを付け、下記のように示した。

黒星印 a は、SRG411・SRG421・SRG431・SRG441・SRG451 である。

黒星印 b は、SRG412・SRG422・SRG432・SRG442・SRG452 である。

黒星印 c は、SRG413・SRG423・SRG433・SRG443・SRG453 である。

黒星印 d は、SRG415・SRG425・SRG435・SRG445・SRG455 である。

図 1-2-1 で示されているように、これらの 4 つの観測点は、期間が異なっても同じ位置に配置されているため、各観測期間の位置の違いについては議論を行わないものとする。

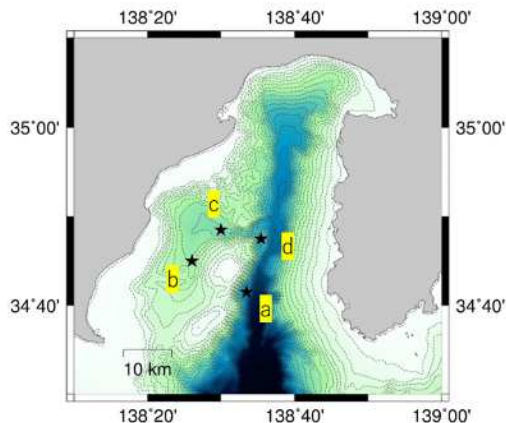


図 1-2-1 2022 年 1 月から 2023 年 2 月 (SRG41~SRG45) までの観測点位置

- 黒色星 a : SRG411, SRG421, SRG431, SRG441, SRG451
- 黒色星 b : SRG412, SRG422, SRG432, SRG442, SRG452
- 黒色星 c : SRG413, SRG423, SRG433, SRG443, SRG453
- 黒色星 d : SRG415, SRG425, SRG435, SRG445, SRG455

### 2 解析方法

#### 2-1 データ処理

本研究で観測された OBS の波形データは、OBS の機器メーカー (クローバーテック (株)) によるフォーマットで記録されている。2-2 章で後述する検測作業は微小地震検測ソフト WIN (ト部・東田, 1992) を使用できるように 1 時間ごとのフォーマットに変換する必要がある為、クローバーテック (株) が提供する Datview を使用しフォーマット変換を行った。Datview は OBS で得られた連続波形データを表示し、またフォーマット変換を行うための支援ソフトである。これを用いて OBS の時刻の時刻校正も行った。

本研究中に得られた期間のデータは SRG41 (2022 年 1 月 1 日から 2022 年 2 月 18 日)、SRG42 (2022 年 2 月 21 日から 2022 年 5 月 18 日)、SRG43 (2022 年 5 月 18 日から 2022 年 8 月 18 日)、SRG44 (2022 年 8 月 22 日から 2022 年 11 月 7 日)、SRG45 (2022 年 11 月 17 日から 2023 年 2 月 8 日) である。OBS 波形データは 100 Hz のサンプリングからなっている。波形データは P 波を読むための上下動 1 成分、S 波及び PS 変換波を読むための水平動 2 成分、水中音波を捉えるためのハイドロフォン 1 成分で構成されている。この波形データを処理した PC は、OS に Linux を用いた PC を使用した。各観測点の波形データから 3 点または 4 点の観測点で記録した地震ファイル (イベントファイル) を作成した。

表 1-2-1 OBS 観測期間、観測点の詳細

期間	2022年1月1日~2022年2月18日			期間	2022年2月21日~2022年5月18日		
観測点位置	北緯(°)	東経(°)	水深(m)	観測点位置	北緯(°)	東経(°)	水深(m)
411	34.6915	138.5581	1600	421	34.6913	138.5583	1558
412	34.7499	138.4336	781	422	34.7500	138.4332	785
413	34.8083	138.4998	974	423	34.8082	138.4997	975
415	34.7913	138.5910	1313	425	34.7906	138.5898	1311
備考				備考	赤色マーカーSRG425のデータは不良のため使用せず		

期間	2022年5月18日~2022年8月18日			期間	2022年8月22日~2022年11月7日		
観測点位置	北緯(°)	東経(°)	水深(m)	観測点位置	北緯(°)	東経(°)	水深(m)
431	34.6892	138.5567	1560	441	34.6920	138.5578	1558
432	34.7499	138.4334	786	442	37.7450	138.4335	786
433	34.8082	138.5000	975	443	34.8080	138.4999	976
435	34.7918	138.5918	1285	445	34.7927	138.5917	1284
備考				備考	赤色マーカーSRG441のデータは不良のため使用せず		

期間	2022年11月17日~2023年2月8日		
観測点位置	北緯(°)	東経(°)	水深(m)
451	34.6898	138.5598	1557
452	34.7494	138.4333	780
453	34.8080	138.4993	977
455	34.7915	138.5919	1310
備考			

以上のようにまとめられた地震のイベントファイルを月ごとに区別し検測用ファイルを作成した。

### 2-2 地震検測

地震検測では、地震波形の P 波到達時刻・S 波到達時刻・PS 変換波到達時刻・最大振幅等を、微小地震検測支援ソフト WIN (ト部・東田, 1992) を用いて読み取り、震源を決定した。

図 2-2-1 は検測時の実際の PC の画面例である。この図では地震波形データが SRG ごとに上から上下動 1 成分、水平動 2 成分、ハイドロフォンの 1 成分が時間軸に沿って表示される。

また図 2-2-2 は P-S 時間が 7 秒以上の長い波形の例である。この波形例は、震源が遠い、または深いことが考えられることから、本研究では取り上げないものとした。

本研究では、駿河湾及びその周辺域で発生する地震について取り扱うことから、ハイドロフォンのデータは使用しないものとした。

震源決定計算には、微小地震検測ソフト WIN 内に構築されている Hypomh (Hirata and Matsu'ura, 1987) を用いた。P 波到達時刻、S 波到達時刻の差から震源を決定し、決定した震源から観測点までの理論走時を求めた。この理論走時と実際に読み取ったデータの値が、P 波は 0.01 秒以内、S 波は 0.05 秒以内に収まるように検測を行った。

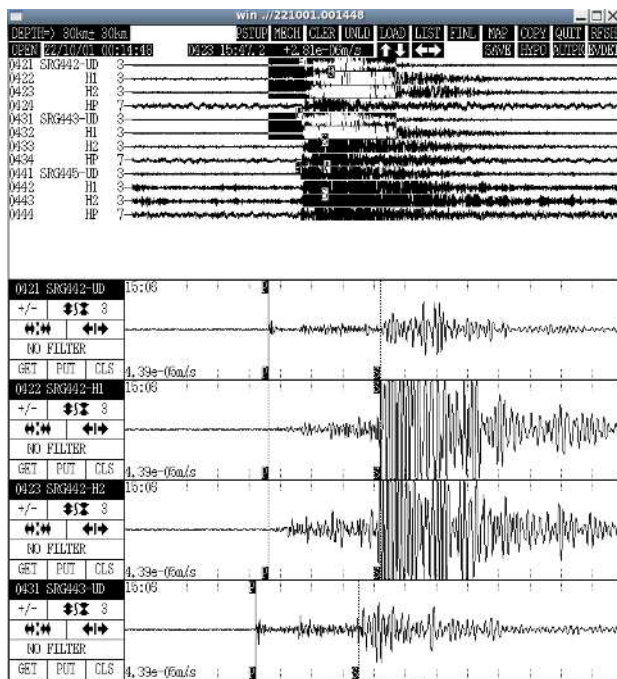


図 2-2-1  
検測ソフト (WIN) による 2022 年 10 月 1 日 24 時 14 分 48 秒の検測画面の例

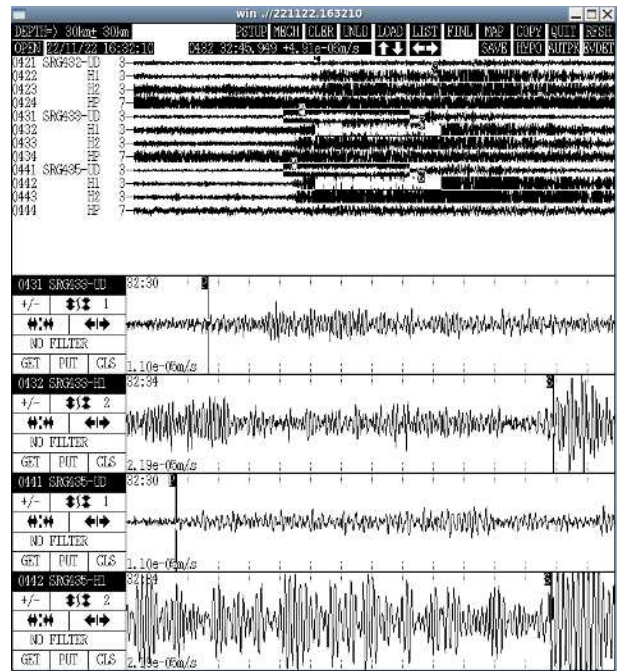


図 2-2-2  
検測ソフト (WIN) による 2022 年 11 月 22 日 16 時 32 分 10 秒の震源が浅い又は深い地震波形の検測画面の例

### 2-3 堆積層補正

一般的に海底面の最上部には水分を多く含んだ未固結の堆積層が存在する。この堆積層が低速度層を形成しているため、陸域と比較して地震波の速度は遅くなり、S 波の速度は極めて遅くなる。地震波の速度が遅くなることによって地震波到達時刻にも遅れが生じ、P 波速度と S 波速度の比 ( $V_p/V_s$  比) も大きく陸域と異なることから、堆積層と基盤岩層の境界で発生する PS 変換波を用いて得られたデータに堆積層補正を行う必要がある。

OBS で一般に観測点補正として PS 変換波を用いて堆積層補正を行うことで、震源決定の精度を高めることができる。PS 変換波とは堆積層とその下に存在する基盤岩層の速度変化が大きいため、この 2 層の境界で発生する顕著な境界面のことである。PS 変換波到達時刻-P 波到達時刻 ( $\Delta T_{ps}$ ) による P 相と S 相の堆積層補正值  $\Delta T_p$  と  $\Delta T_s$  は次の式で表される。

$$\Delta T_p = \frac{V_s}{V_p - V_s} \frac{V_p^* - V_p}{V_s} \Delta T_{ps}$$

$$\Delta T_s = \frac{V_p}{V_p - V_s} \frac{V_s^* - V_s}{V_s} \Delta T_{ps}$$

この式における  $V_p$ ,  $V_s$  とはそれぞれの堆積層中の P 波速度と S 波速度である。  $V_p^*$  と  $V_s^*$  は、震源計算で用いられた P 波速度と S 波速度である。堆積

層内は  $V_p/V_s$  比を 4.0, 更に  $V_p = V_p^*$  と仮定し, Hypomh で用いられる  $V_p^*/V_s^* = 1.73$  より次の式で表すことができる.

$$\Delta T_p = 0 \quad \Delta T_s = 0.73 \Delta T_{ps}$$

式  $\Delta T_{ps} = 0$  は堆積層構造に無関係であるため, 検測時に求めた PS 変換波を用いて数式より  $\Delta T_{ps}$  より求め, 堆積補正の初期値として与え震源の再計算を行なった.  $\Delta T_{ps}$  は堆積層補正 1 回目にもみ用いるが, 2 回目以降の場合は 1 回目で使用したデータを基に  $\Delta T_p$  と  $\Delta T_s$  を求める.

表 2-3 は, 堆積層補正を行うときに使用した気象庁の速度構造モデル JMA2001 (上野ほか, 2002) の表である. この速度構造モデルを用い, 本研究で求めた堆積層補正値を SRG41, SRG42 については表 2-3-1 に, SRG43, SRG44 については表 2-3-2, SRG45 については表 2-3-3 に示した. それぞれの堆積層補正シートは堆積補正 3 回分の結果を示したものである.

表 2-3-1 気象庁 JMA2001 による速度構造モデル

気象庁 JMA2001		
	地震波速度 (km/s)	地殻の厚さ (km)
堆積層	1.70	1.00
海洋性地殻第1層	4.80	2.00
海洋性地殻第2層	6.00	9.50
海洋性地殻第3層	6.80	27.00
海洋性マントル	8.00	117.00

表 2-3-2 堆積層補正シート

SRG41					SRG42						
Average of Delta P					Average of Delta P						
回数	ST	SRG411	SRG412	SRG413	SRG415	回数	ST	SRG421	SRG422	SRG423	SRG425
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		0.004	-0.002	0.009	-0.006	C1		0.006	-0.003	0.015	-0.007
C2		0.001	0.000	0.004	-0.002	C2		0.007	0.003	0.005	0.004
C3		0.001	0.001	0.002	-0.001	C3		0.006	0.003	0.005	0.005
SD of Delta P					SD of Delta P						
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		0.013	0.017	0.023	0.017	C1		0.085	0.036	0.050	0.054
C2		0.023	0.015	0.020	0.015	C2		0.084	0.016	0.044	0.024
C3		0.023	0.015	0.019	0.015	C3		0.082	0.020	0.044	0.022
Delta P					Delta P						
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		0.000	0.000	0.000	0.000	C1		0.000	0.000	0.000	0.000
C2		-0.004	0.003	-0.009	0.006	C2		-0.014	0.000	-0.015	0.007
C3		-0.005	0.002	-0.013	0.008	C3		-0.021	-0.003	-0.020	0.003
Average of Delta S					Average of Delta S						
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		0.003	-0.004	0.002	-0.002	C1		-0.039	-0.026	-0.026	-0.038
C2		0.001	-0.002	0.004	-0.006	C2		-0.016	-0.031	-0.016	-0.022
C3		-0.002	0.000	0.003	-0.004	C3		-0.019	-0.023	-0.022	-0.022
SD of Delta S					SD of Delta S						
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		0.039	0.037	0.039	0.039	C1		0.275	0.119	0.207	0.203
C2		0.039	0.040	0.044	0.039	C2		0.247	0.124	0.184	0.097
C3		0.039	0.041	0.044	0.038	C3		0.248	0.128	0.187	0.099
Delta S					Delta S						
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	C1		-1.000	-1.000	-1.000	-1.000
C2		-1.003	-0.996	-1.002	-0.998	C2		-0.961	-0.974	-0.974	-0.962
C3		-1.004	-0.994	-1.006	-0.992	C3		-0.945	-0.943	-0.958	-0.940

表 2-3-3 堆積層補正シート

SRG43					SRG44					
Average of Delta P					Average of Delta P					
回数	ST	SRG431	SRG432	SRG433	SRG435	回数	ST	SRG442	SRG443	SRG445
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000
C1		0.006	-0.003	0.015	0.010	C1		0.011	0.009	0.006
C2		0.000	0.007	0.016	0.003	C2		0.012	0.008	0.005
C3		0.002	0.009	0.008	0.006	C3		0.012	0.007	0.004
SD of Delta P					SD of Delta P					
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000
C1		0.025	0.036	0.050	0.093	C1		0.133	0.071	0.062
C2		0.023	0.055	0.053	0.033	C2		0.130	0.069	0.059
C3		0.024	0.048	0.050	0.033	C3		0.124	0.063	0.054
Delta P					Delta P					
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000
C1		0.000	0.000	0.000	0.000	C1		0.000	0.000	0.000
C2		-0.006	0.003	-0.015	-0.010	C2		-0.011	-0.009	-0.006
C3		-0.006	-0.004	-0.031	-0.013	C3		-0.023	-0.017	-0.011
Average of Delta S					Average of Delta S					
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000
C1		-0.052	-0.073	-0.044	-0.079	C1		0.000	-0.018	-0.028
C2		-0.050	-0.024	-0.095	-0.031	C2		-0.009	-0.016	-0.021
C3		-0.059	-0.047	-0.049	-0.054	C3		-0.009	-0.015	-0.021
SD of Delta S					SD of Delta S					
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000
C1		0.259	0.299	0.296	0.247	C1		0.075	0.171	0.191
C2		0.259	0.192	0.240	0.248	C2		0.076	0.174	0.192
C3		0.260	0.197	0.245	0.253	C3		0.079	0.178	0.196
Delta S					Delta S					
C0		0.000	0.000	0.000	0.000	C0		0.000	0.000	0.000
C1		-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	C1		-1.000	-1.000	-1.000
C2		-0.948	-0.927	-1.044	-0.921	C2		-1.000	-0.982	-0.972
C3		-0.898	-0.903	-0.949	-0.890	C3		-0.991	-0.966	-0.951

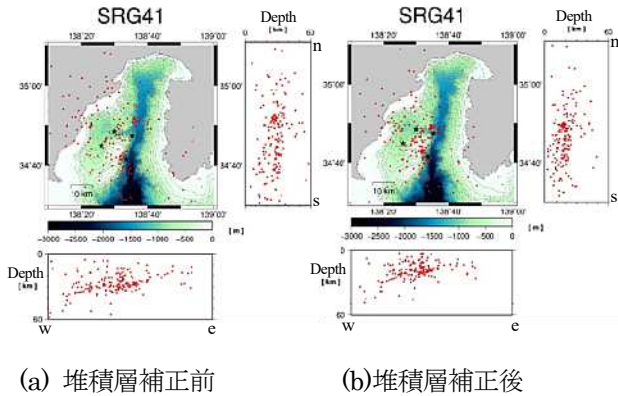
表 2-3-4 堆積層補正シート

SRG45					
Average of Delta P					
回数	ST	SRG451	SRG452	SRG453	SRG455
C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		0.006	-0.003	0.015	0.010
C2		0.000	0.007	0.016	0.003
C3		0.002	0.009	0.008	0.006
SD of Delta P					
C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		0.025	0.036	0.050	0.093
C2		0.023	0.055	0.053	0.033
C3		0.024	0.048	0.050	0.033
Delta P					
C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		0.000	0.000	0.000	0.000
C2		-0.006	0.003	-0.015	-0.010
C3		-0.006	-0.004	-0.031	-0.013
Average of Delta S					
C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		-0.052	-0.073	-0.044	-0.079
C2		-0.050	-0.024	-0.095	-0.031
C3		-0.059	-0.047	-0.049	-0.054
SD of Delta S					
C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		0.259	0.299	0.296	0.247
C2		0.259	0.192	0.240	0.248
C3		0.260	0.197	0.245	0.253
Delta S					
C0		0.000	0.000	0.000	0.000
C1		-1.000	-1.000	-1.000	-1.000
C2		-0.948	-0.927	-1.044	-0.921
C3		-0.898	-0.903	-0.949	-0.890

3 結果

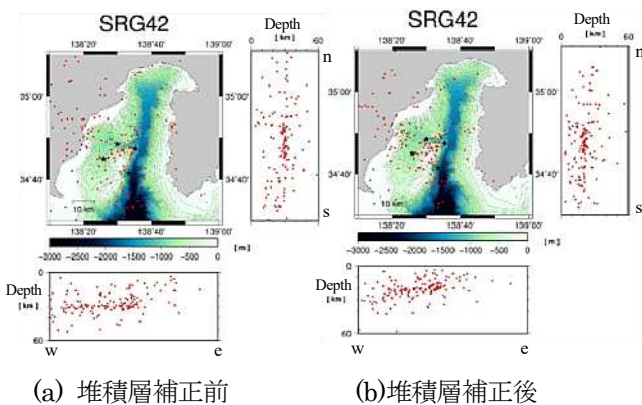
3 章では各 SRG で震源分布図を 2022 年 1 月から 2022 年 2 月 (SRG41) の震源分布図を図 3-1 に示した. 図 3-1(a)は堆積層補正を行う前の震源位置,

図 3-1(b)は堆積層補正後の震源分布図である。図 3-1(a)と図 3-1(b)を比較すると、堆積層補正をしたことで石花海北堆及び焼津沿岸に震源が集中した。また深さ分布では、10km から 30km の間で決まり、震源は観測点の周辺に集り、かつ浅くなる様子が見られた。



(a) 堆積層補正前 (b)堆積層補正後  
図 3-1 SRG41 期間 (2022 年 1 月 1 日から 2022 年 2 月 18 日) の震源分布図

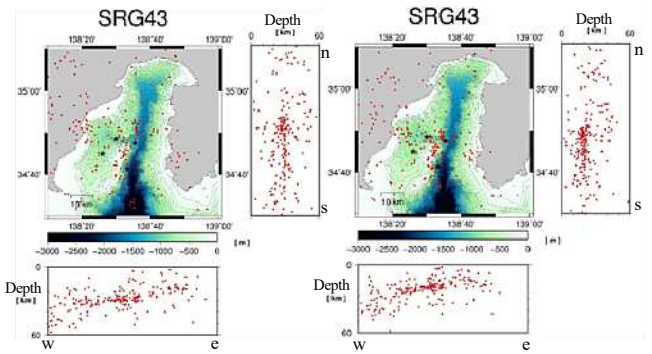
2022 年 2 月から 5 月 (SRG42) の震源分布図を図 3-2 に示した。図 3-2(a)は堆積層補正を行う前の震源位置、図 3-2(b)は堆積層補正後の震源分布図である。図 3-2(a)と図 3-2(b)を比較すると、堆積層補正をしたことで駿河トラフ及び石花海北堆、焼津沿岸に震源が集中した。また深さ分布では、10km から 30km の間で決まり、震源は観測点周辺に集まり、かつ浅くなる様子が見られた。



(a) 堆積層補正前 (b)堆積層補正後  
図 3-2 SRG42 期間 (2022 年 2 月 21 日から 2022 年 5 月 18 日) の震源分布図

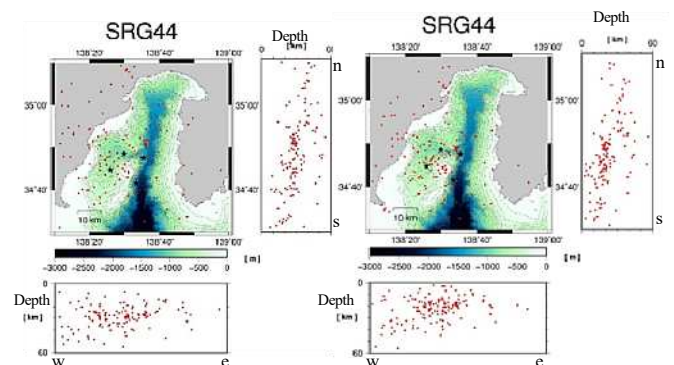
2022 年 5 月から 8 月 (SRG43) の震源分布図を図 3-3 に示した。図 3-3(a)は堆積層補正を行う前の震源位置、図 3-3(b)堆積層補正後の震源分布図である。図 3-3(a)と図 3-3(b)を比較すると、堆積層補正をしたことで駿河トラフ及び石花海海盆～石花海北堆、焼津沿岸に集中した。また深さ分布では、10

km から 30km の間で決まり、震源は観測点周辺に集まり、かつ浅くなる様子が見られた。



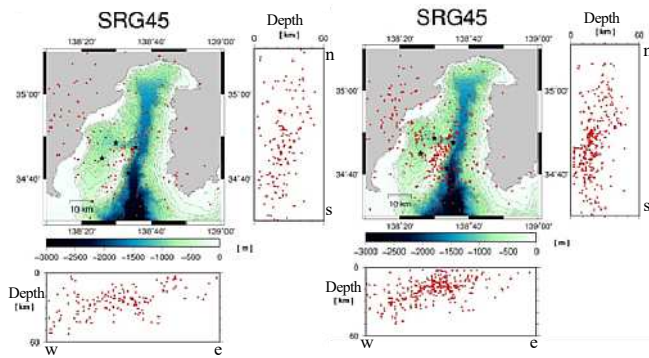
(a)堆積層補正前 (b)堆積層補正後  
図 3-3 SRG43 期間 (2022 年 5 月 18 日から 2022 年 8 月 18 日) の震源分布図

2022 年 8 月から 11 月 (SRG44) の震源分布図を図 3-4 に示した。図 3-4(a)は堆積層補正を行う前の震源位置、図 3-4(b)堆積層補正後の震源分布図である。図 3-4(b)と図 3-4(b)を比較すると、堆積層補正をしたことで、震源は石花海海盆から駿河トラフに集中した。また深さ分布では、10 km から 40km の間で集中しており、また震源は観測点周辺に決められ震源が浅くなる様子が見られた。



(a)堆積層補正前 (b)堆積層補正後  
図 3-4 SRG44 期間(2022 年 8 月 22 日から 2022 年 11 月 7 日) の震源分布図

2022 年 11 月から 2023 年 2 月 (SRG45) の震源分布図を図 3-5 に示した。この SRG45 の堆積層補正前の震源分布図の結果を図 3-5(a)に示した。他の SRG 期間と比べて震源のばらつきが広範囲であったが、その中でも石花海海盆及び石花海北堆に震源の集中が見られた。図 3-5(b)の震源分布では石花海海盆及び石花海北堆・駿河トラフと波勝崎に集中しているのが見られた。震源は深さ 10 km から 30km の間で集中しており、また震源は観測点周辺で決められ震源が浅くなる様子が見られた。



(a)堆積層補正前 (b)堆積層補正後

図 3-5 SRG45 期間 (2022 年 11 月 17 日から 2023 年 2 月 8 日) の震源分布図

#### 4 考察

##### 4-1 OBS の震源分布の特徴

本研究期間の SRG41～SRG45 期間である 2022 年 1 月から 2023 年 2 月までの駿河湾における地震活動について考察を行った。図 4-1-1 は、本研究で決めた 2022 年 1 月から 2023 年 2 月までの震源分布図に、弘瀬ほか (2007) で示されているプレート境界 (図中、黒実線) を加えた図である。2022 年 1 月から 2023 年 2 月までの震源分布の特徴について、以下にまとめる。

- ・図 4-1-1 より焼津沿岸から石花海北堆及びその周辺、石花海北堆及びその周辺から駿河トラフ南部、伊豆半島及び波勝崎沖に震源が集中していることが解った。
- ・駿河湾奥部や伊豆北西部ではほとんど震源は決められなかった。
- ・図 4-1-1 より東西の深さ分布は東から西にかけて深くなる傾向が解った。
- ・図 4-1-1 より決められた震源の多くは弘瀬ほか (2007) のプレート境界よりも深い所に集中していることが解った。

このことから決められた震源の多くは、フィリピン海プレート内で圧縮の影響によって発生したスラブ内地震であると考えられる。石花海北堆周辺ではプレート付近に震源が決められたが、プレートの上で発生する地震の場合は一部のみで発生することはないため、大半の地震は、フィリピン海プレートまたはユーラシアプレート以深で発生したスラブ内地震であると考えられる。

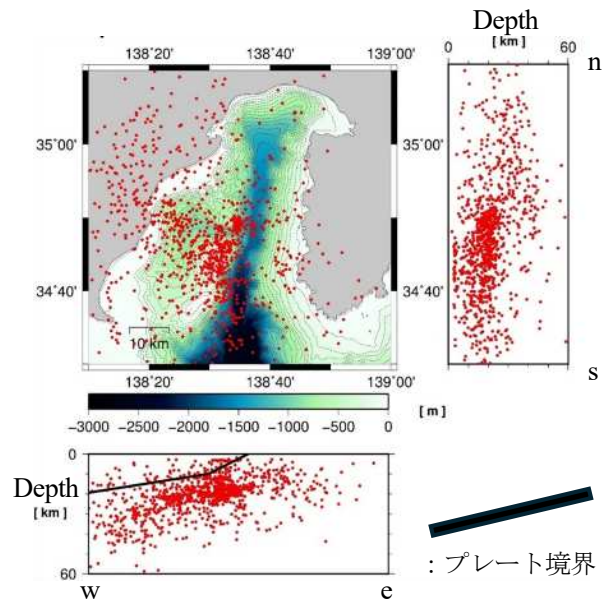


図 4-1-1 SRG41～45 期間 (2022 年 1 月 1 日から 2023 年 2 月 8 日) の震源分布及びプレート境界を示した鉛直断面図 (弘瀬ほか, 2007 より引用)

##### 4-2 2018 年から 2022 年の OBS 震源の経年変化

2018 年から 2022 年までの OBS 観測による経年変化を、浅野・石井 (2018), 一瀬・佐野 (2019), 田中・渡邊 (2020), 竹内・本園 (2021), 鬼頭 (2022) の研究を踏まえながら、震源分布図を用いて考察を行う。2018 年の震源分布図を図 4-2-1(a), 2019 年の震源分布図を図 4-2-1(b), 2020 年の震源分布図を図 4-2-1(c), 2021 年の震源分布図を図 4-2-1(d), 2022 年の震源分布図を 4-2-1(e)に示した。2018 年～2022 年の震源分布図の経年変化の特徴について、以下にまとめる。

- ・図 4-2-1(a)は、2018 年に OBS 観測によって決められた震源分布図である。石花海海盆・石花海北堆及びその周辺と焼津周辺と焼津沖、伊豆半島の西側と波勝崎周辺で地震活動が認められた。主に焼津沖で地震活動が集中したが、これは 2018 年 8 月 10 日の M4.4 の地震の影響であったと考えられる。震源の深さ分布の経年変化については、震源の深さは 10 km から 40 km の範囲であり、深さ 30 km から 60 km にも震源は多数決定されたが、主に深さ 20 km から 30 km の範囲に集中しているのが見られた。
- ・図 4-2-1(b)は、2019 年に OBS 観測によって決められた震源分布図で、石花海海盆・石花海北堆と焼津沖周辺と波勝崎周辺に震源が多く見られた。2018 年よりも 2019 年で陸域の震源が減少した結果となった。震源の深さ分布の経年変化については、2019 年の図 4-2-1(b)より、震源の集中が見られるのは深さ 20 km から 30 km であり、深さ 30 km から 50 km ではまばらであった。

・図 4-2-1(c)は、2020 年に OBS 観測によって決められた震源分布図で、石花海海盆・石花海北堆や静岡市の陸域・焼津沿岸から焼津沖周辺や波勝崎周辺に震源の集まりが見られた。伊豆北西部・富士・沼津・御前崎側にはほとんど震源が決められず、震源の偏りがあった。震源の深さ分布の経年変化については、2020 年の図 4-2-1(c)より、震源の深さの分布は深さ 10 km から 40 km の範囲ではあるが、主に深さ 15 km から 30 km の範囲に集中しているのが見られた。

・図 4-2-1(d)は、2021 年に OBS 観測によって決められた震源分布図で、震源分布は石花海北堆及びその周辺と石花海海盆に顕著な集まりが見られた。焼津周辺と焼津沖や波勝崎周辺にも震源が決められた。震源の深さ分布の経年変化については 2021 年の図 4-2-1(d)より、石花海北堆及びその周辺の深さ 5 km と深さ 15 km から 25 km に震源の集まりが見られた。焼津沿岸から焼津沖では深さ 15 km から 25 km に震源の集まりが見られた。

・図 4-2-1(e)は、2022 年に OBS 観測によって決められた震源分布図で、石花海海盆と石花海北堆から焼津沖に震源の集中が見られ、波勝崎沖にも震源が集中しているのが見られた。震源の深さ分布の経年変化については、2022 年の図 4-2-1(e)より、震源の深さの分布は 10 km から 30 km の範囲ではあるが、主に深さ 20 km 付近に顕著に集中しているのが見られた。

つまり、2018 年から 2022 年の 5 年間を通じて、焼津周辺及び焼津沖、石花海海盆・石花海北堆とその周辺、波勝崎周辺の 3 ヶ所に主に震源の集中が見られた。特に石花海北堆とその周辺に震源の集中が見られ、湾奥ではほとんど震源は決定されなかった。しかし、過去の記録では江戸時代に湾奥においても地震が発生した記録が残されており、2019 年 10 月 17 日には湾奥に M3.2 の地震が発生していることを考慮して、これから注視していく必要があると考える。2018 年から 2022 年まで震源の深さに関しては、深さ 10 km から 30 km に集中する傾向が見られ、5 年間の地震の大半がプレート以深の地震であることより、プレート内のスラブ内地震であると推定された。

また、2019 年から 2022 年は震源が深さ 20 km 付近に帯状に集まっているのが見られた。震源の深さ分布では、東から西に向かって深くなる様子が見られ、プレート境界に沿った地震活動の様子であると考えた。震源の決定数についての経年変化は多少の増減はあったが、検測に携わった学生によっても影響があることを考慮して、ほぼ同数であると考え

ると、5 年間を通じて地震活動が同じ規模で継続して行われていると考えられる。

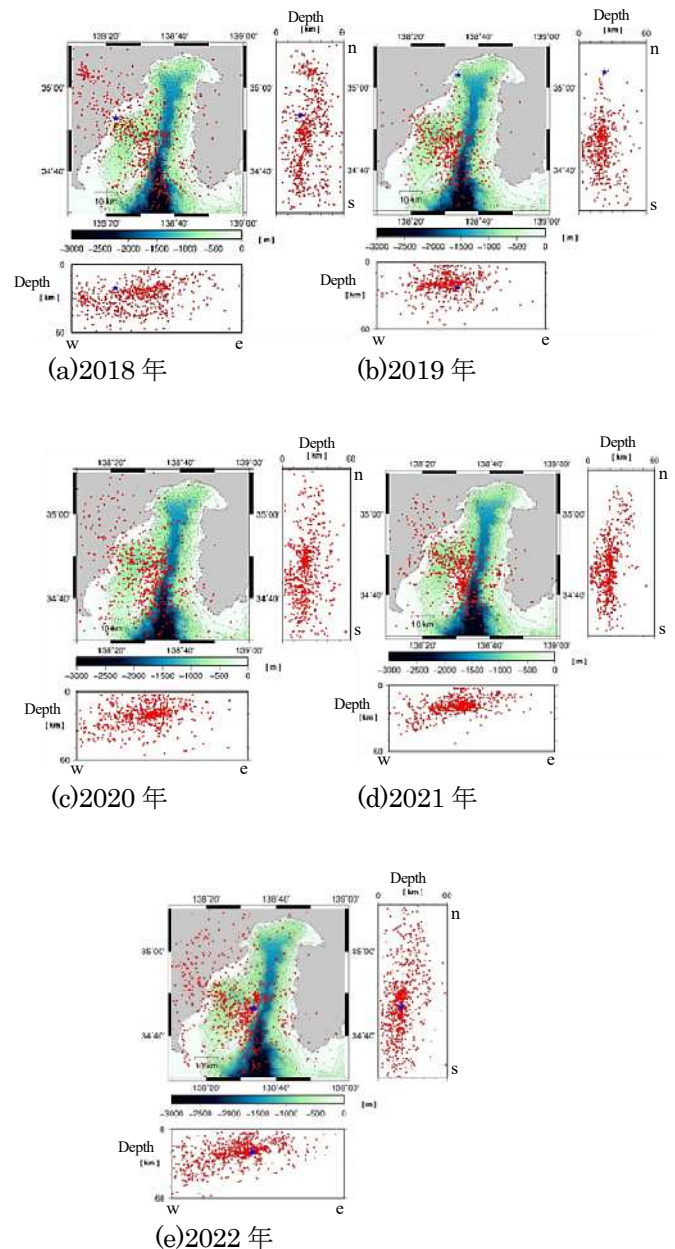


図 4-2-1 (a)2018 年から(e)2022 年の OBS で決められた震源分布図

なお (a) の青色星は 2018 年 8 月 10 日に発生した M4.4 の地震 (気象庁, 報道発表資料, 2011 年より引用), (b) の青色星: 2019 年 10 月 17 日に発生した M3.2 の地震 (気象庁, 震源データより引用)

(e) の青色星: 2022 年 12 月 14 日に発生した M2.9 の地震 (気象庁, 震源リストより引用)

#### 4-3 2018 年から 2022 年の震源集中域 (焼津・石花海北堆・波勝崎) の経年変化

2018年から2022年の震源が多く決定された焼津・石花海北堆・波勝崎の3ヶ所を震源集中域とし、それぞれの集中域の範囲を図4-3-1に示す。図4-3-1の図中に示す範囲1・2・3は、それぞれ焼津・石花海北堆・波勝崎とした。以下、範囲1・2・3の経年変化について考察した。

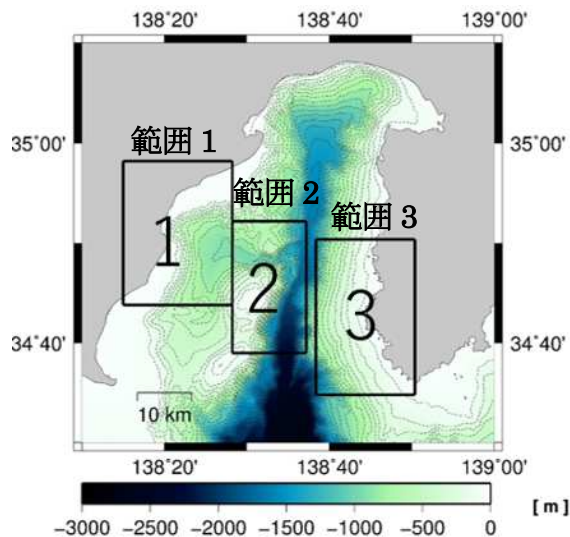


図 4-3-1 震源集中域の範囲

<範囲1：焼津の震源集中域について>

図4-3-2は、範囲1である焼津についての震源分布図である。図4-3-2(a)は、2018年の震源分布図、図4-3-2(b)は2019年の震源分布図、図4-3-2(c)は2020年の震源分布図、図4-3-2(d)は2021年の震源分布図、図4-3-2(e)は2022年の震源分布図とした。2018年の震源の深さ分布については図4-3-2(a)に示すように深さ20 kmから40 kmの範囲に集中しており、主に深さ20 kmから30 kmの範囲に集中しているのが見られた。深さ30 kmから50 kmにも震源の集まりは見られたが、深さ0 kmから20 kmにはほとんど震源は見られなかった。2019年の震源の深さ分布については図4-3-2(b)に示すように、深さ15 kmから30 kmの範囲に震源が集まり、主に深さ20 km付近に震源が集中しているのが見られた。2020年の震源の深さ分布については図4-3-2(c)に示すように、深さ10 kmから30 kmの範囲に多く震源が集まり、主に深さ20 km付近に集中しているのが見られた。2021年の震源の深さ分布については図4-3-2(d)に示すように、深さ15 kmから30 kmの範囲に震源が集まり、主に深さ20 kmに帯状に集中しているのが見られた。2022年の震源の深さ分布については図4-3-2(e)に示すように、深さ30 kmから40 kmにも点在しているが、深さ15 kmから30 kmの範囲に震源が集中し、主に深

さ20 km付近に震源の集中が見られた。

つまり、範囲1の焼津では、5年間にわたり震源が石花海海盆に集中し、2018年では深さ30 kmから50 kmに分布し、2019年以後では、深さ20 km付近に集中が見られたが、10 km以浅では震源はほとんど決定されなかった。これらの変化は、2018年8月10日に発生したM4.4の地震の影響を受けていると考えた。焼津沖に地震が多い理由は、フィリピン海プレートが陸のプレートに沈み込む境界の場所であるためであると考えられる。

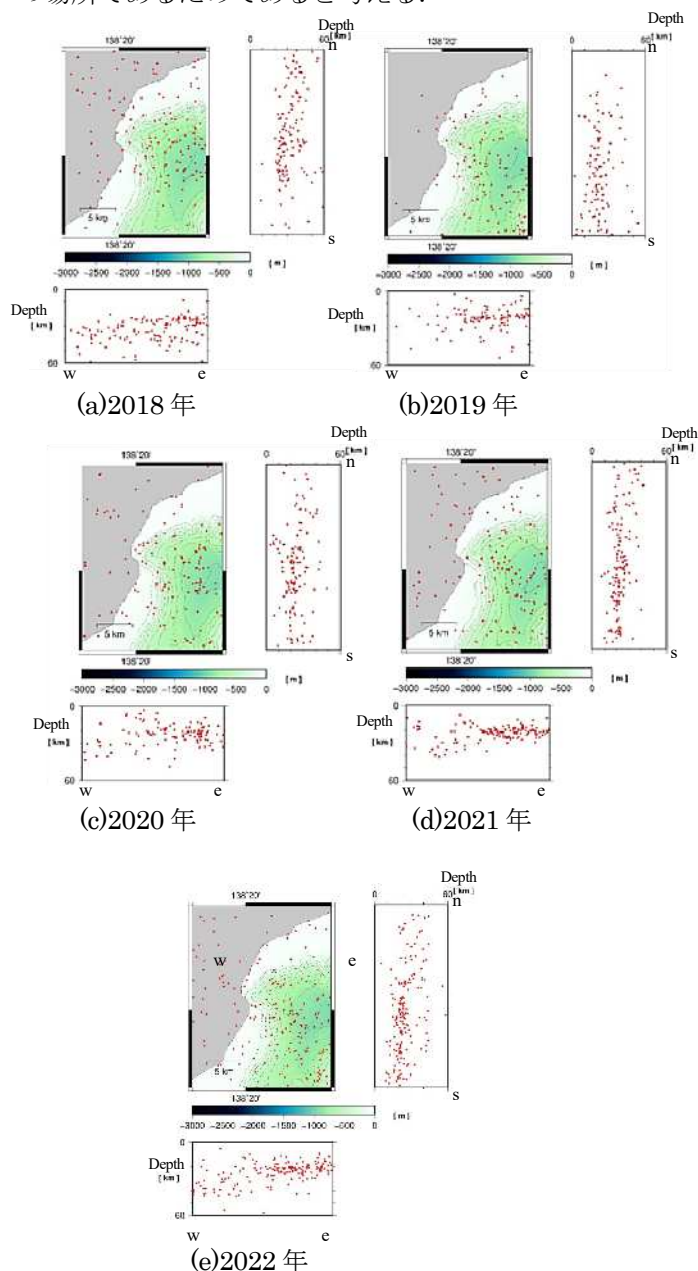


図 4-3-2 (a)2018年から(e)2022年の焼津沿岸及び石花海海盆における震源分布図

<範囲2：石花海北堆の震源集中域について>

次に図4-3-1に示した範囲2である石花海北堆に



ついても、各年の震源分布図を2018年は図4-3-3(a)、2019年は図4-3-3(b)、2020年は図4-3-3(c)、2021年は図4-3-3(d)、2022年は図4-3-3(e)に示した。図4-3-3(a)より石花海北堆の2018年震源の深さ分布は、深さ20 kmから30 kmに震源の集中が見られた。図4-3-3(b)より2019年の震源の深さ分布は、深さ5 kmから30 kmに震源が集まり、主に深さ20 kmに震源の集中が見られた。図4-3-3(c)より2020年の石花海北堆における震源の深さ分布は、深さ5 kmから20 kmに集中しており、主に深さ約20 km付近に震源の集中が見られた。図4-3-3(d)より2021年の石花海北堆の震源の深さ分布は、深さ5 kmから20 kmに集まり、主に深さ20 km付近に帯状の集中が見られた。震源は30 km以深にはほとんど決定されなかった。図4-3-3(e)より2022年の石花海北堆周辺の震源の深さ分布は、深さ10 kmから25 kmに集まり、主に深さ20 km付近に帯状の集中が見られた。深さ30 km以深では震源はほとんど決定されなかった。

範囲2の石花海北堆では5年間共通して、石花海北堆周辺に震源が集中しているのが見られ、石花海北堆は、駿河トラフ軸からの東から西へのプレートの沈み込みの起点であるために、地震活動が活発であると考えられる。また、深さの浅い地震も数多く見られ、駿河トラフ直下では、震源はほとんど決められなかった。震源の深さ分布で5年間を通じて、20 kmから30 kmに帯状に集中していることから、これらの地震の大部分がスラブ内地震であると推定され、範囲2ではフィリピン海プレート内の地震活動が活発であると考えられる。

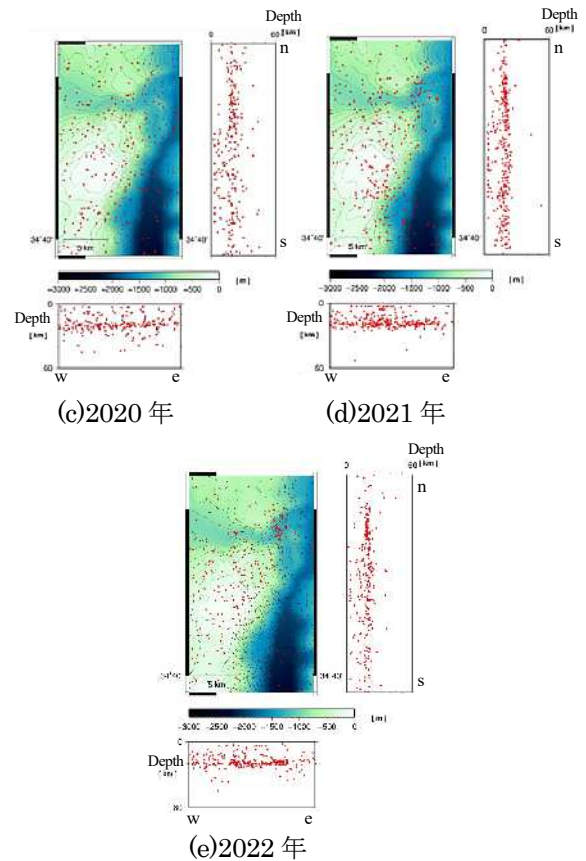
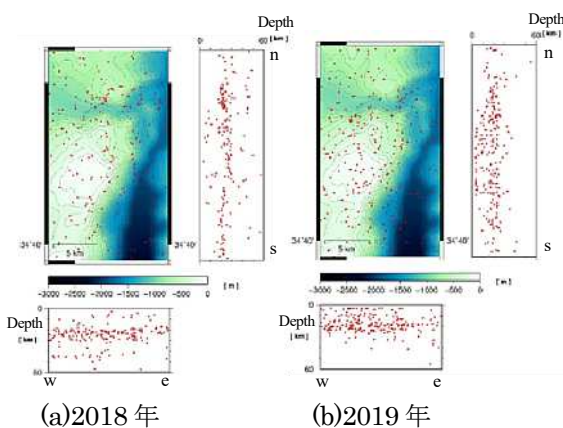


図4-3-3 (a)2018年から(e)2022年の石花海北堆及び周辺における震源分布図

<範囲3：波勝崎の震源集中域について>

最後に図4-3-1の範囲3である波勝崎周辺について述べる。震源の分布図を2018年は図4-3-4(a)、2019年は図4-3-4(b)、2020年は図4-3-4(c)、2021年は図4-3-4(d)、2022年は図4-3-4(e)に示した。2018年の波勝崎周辺の震源の深さ分布については図4-3-4(a)に示したように、深さ10 kmから30 kmに震源が集まり、主に深さ15 kmから20 kmに震源が集中しているのが見られた。2019年の波勝崎の震源の深さ分布については図4-3-4(b)に示すように、震源が深さ10 kmから30 kmの範囲に集まり、主に深さ10 kmから20 kmに集中しているのが見られた。2020年の波勝崎周辺の震源の深さ分布については図4-3-4(c)に示すように、震源が深さ5 kmから25 kmに集まり、主に深さ10 kmから20 kmに集中しているのが見られた。2021年の波勝崎周辺の震源の深さ分布については図4-3-4(d)に示すように、深さ5 kmから25 kmに震源が集まり、主に深さ5 kmから10 kmに集中しているのが見られた。2022年の波勝崎周辺の震源の深さ分布については図4-3-4(e)に示すように、震源は深さ10 kmから30 kmの範囲に集中しているが、主に深さ約15 km



付近にも集中しているのが見られた。

以上のことより、範囲 3 での波勝崎では、2018 年から 2020 年に波勝崎周辺に震源が散在しているのが見られた。2021 年以降では深さ 5 km から 20 km に震源が集中し、30 km 以深ではほとんど震源は決定されなかった。範囲 3 では範囲 1 や範囲 2 より震源の深さが浅いことより、地震活動が他の範囲より浅い場所で行われていると推定される。

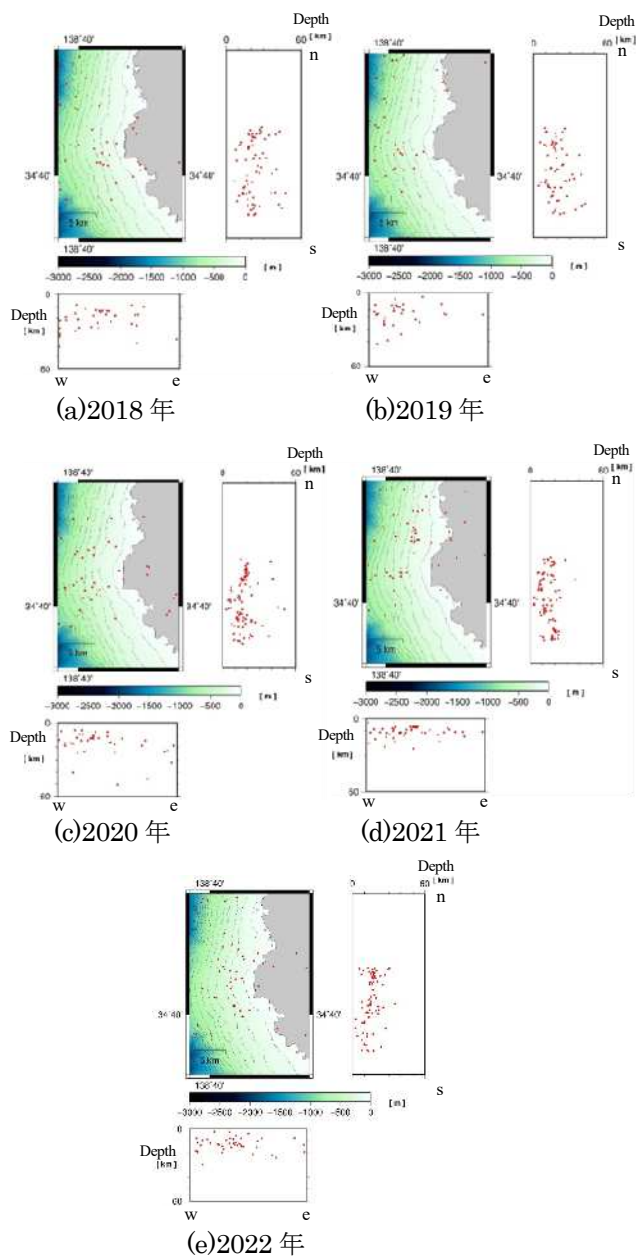


図 4-3-4 (a)2018 年から(e)2022 年の波勝崎周辺における震源分布図

#### 4-4 2022 年の OBS の震源と気象庁震源の比較

本研究期間である 2022 年 1 月から 2022 年 12 月 (SRG41~SRG45) と気象庁における 2022 年 1 月から 2022 年 12 月を比較検討することで、気象

庁による陸上における地震観測と OBS による震源の分布や深さなどの違い及び特徴などについて考察する。気象庁の観測点を図 1-1-2 に示し、気象庁が公開しているホームページの震源リストから本研究期間である SRG41~SRG45 のデータを用いた震源分布を図 4-4-1 に示した。

図 4-4-1 から気象庁震源は、駿河湾内よりもはるかに陸域に多く集中していることが解った。海域では石花海南堆周辺及び焼津沿岸に集中が見られた。石花海南堆及び湾奥部には震源がほとんど決められなかった。決定された震源の数は、気象庁 964 個に対して OBS では 776 個であり、気象庁の震源数に比べ OBS での震源数が多いことが解った。また、気象庁の陸域での震源分布は深さ 10km~30km 付近で集まる様子が見られた。震源の数の違いの要因として考えられるのは、図 1-1-2 から分かるように気象庁の観測点位置から駿河湾周辺に設置されている多くの地震観測点は陸上にあり、海域にある観測点は御前崎沖から志摩半島沖にケーブル式海底地震計のみであることから観測点が駿河湾周辺に少ないことが原因だと考えられる。また、陸上では、地震をとらえることができたとしても人間が活動している時間帯や公共交通機関や自家用車によるノイズでノイズが含まれた波形に影響され震源が決定できないことが原因であると考えられる。このことから駿河トラフ周辺で起こる微細な地震を正確に把握するには、OBS を利用することが最適であると考えられる。

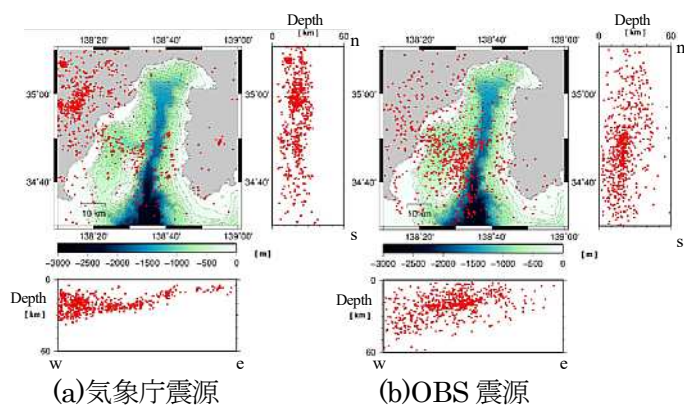


図 4-4-1 2022 年 1 月から 2022 年 12 月期間の気象庁震源と OBS 震源の震源分布図

## 5 結論

本研究では 2021 年 11 月から 2023 年 2 月までの期間である SRG41~SRG45 の期間に、OBS 観測によって得られた地震データを用いて震源決定を行った。それによって決定された震源分布をもとに、SRG41~SRG45 までの震源分布の特徴について検

討し、浅野・石井 (2018)、一瀬・佐野 (2019)、田中・渡邊 (2020)、竹内・本園 (2021)、鬼頭 (2022) 研究をもとに 2018 年から 2022 年までの OBS 震源の経年変化について検討した。次に 2022 年の震源について気象庁震源と OBS 震源との比較を検討した。

まず、2021 年 11 月から 2023 年 2 月までの震源の特徴は、焼津沖、石花海北堆及びその周辺、波勝崎周辺に震源が集中し、これに対して駿河湾奥や伊豆北西部ではほとんど震源は決められなかった。東西深さ分布は東から西にかけて深くなっていく傾向があり、決められた震源の多くはプレート境界よりも深い所で見られた。このことよりこの期間に発生した地震のほとんどが、プレート内で起こるスラブ内地震であると推定された。

2018 年から 2022 年までの震源分布についての経年変化は、震源分布の集中が見られる地域は、焼津周辺及び焼津沖、石花海北堆及びその周辺、波勝崎周辺であり、5 年間ほぼ同じであった。震源の深さについては深さ 10 km から 30 km の範囲に集中し、大部分の地震がプレート以深の地震であることより、スラブ内地震であると考えられた。震源決定数についても多少の増減はあったが、顕著な変化は見られなかった。

震源集中域である焼津、石花海北堆、波勝崎での経年変化については、5 年間を通じて石花海海盆、石花海北堆に震源の集中が見られた。範囲 1 の焼津では、2018 年には 2018 年 8 月 10 日の M4.4 の地震の影響と 2019 年以降はその余震活動が見られた。範囲 2 の石花海北堆では、5 年間を通じて地震活動が活発に行われ、その大部分がプレート以深に震源があることより、スラブ内地震であったと考えられる。範囲 3 の波勝崎では、他の範囲より震源が浅く、地震活動が浅い場所で行われていると推定された。

2022 年 1 月から 2022 年 12 月の期間の気象庁が決定した震源と OBS 観測によって決定した震源との比較について、気象庁震源は陸域に集中していることが特徴である。これは気象庁の観測点のほとんどが陸域にあることによるものである。海域で決められた気象庁震源は、石花海北堆周辺及び焼津沿岸に集中し、湾奥には震源がほとんどない。これは OBS 震源と同じで特徴を示している。気象庁の震源分布はほとんどが陸域に決められ、一方駿河湾では OBS 観測で決められた震源の方が多い。このことは、2018 年から 2022 年まで同じ傾向であった。

以上のように本研究では、OBS 震源の経年変化を中心に地震活動を考察したが、5 年間の駿河湾における地震活動に顕著な変化は見られず、想定され

ている駿河湾での東海地震につながるような変化はなかったと考えられる。また、本研究では 5 年間についての経年変化を検討したが、より長期間の地震活動の経年変化を見ることで、詳細な地震活動を把握できるのではないかと考える。そして、過去、南海トラフ沿い東側で発生した巨大地震の後、南海トラフ沿い西側において短期間のうちに巨大地震が発生したことから今後駿河湾で発生した際に他の南海トラフ想定震源域で巨大地震が起こる可能性がある。その為、OBS による継続的な観測が、駿河湾の地震活動や東海地震に繋がるプレート境界の地震を捉えられる可能性があり、これからも駿河湾の地震活動の経年変化を見ていくことが重要であると考えられる。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、東海大学海洋学部海洋地球科学科の馬場久紀准教授には卒業研究の全般にわたり観測や講義、その他多くの面で貴重なご指導、ご鞭撻をいただいた。

気象研究所の西宮隆二氏には、観測機器の提供、航海への同行、あらゆる面で研究活動の支援をいただいた。

観測船「南十字」、「北斗」の乗船員の皆様には、OBS の設置・回収の度にお世話になった。最後に研究室の一同には、研究を進めるにあたって OBS の組み立て作業～設置・回収の航海など様々な作業でお世話になり、感謝の念が堪えない。

ここに記して皆様に多大なる感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 青木元・吉田康宏・原田智史・山崎明・石川有三・中村雅基・田中昌之・松田慎一郎・中村浩二・緒方誠・白坂光行・(2003)：自己浮上式海底地震計観測による駿河・南海トラフ沿いの地震活動—気象庁一元化震源との比較—地震 第 2 輯, 55 (4), 429-434
- 2) 浅野開成・石井映 (2018)：OBS 観測による駿河湾の地震活動について—駿河トラフ周辺域の震源分布—, 東海大学海洋学部卒業論文。
- 3) 馬場久紀・平田賢治・山崎明・対馬弘晃・勝間田明男・前田憲二・上野寛・青木重樹・小林昭夫・木村一洋・弘瀬冬樹・長尾年恭 (2015)：自己浮上式海底地震計 (OBS) を用いた駿河湾石花海周辺海域における連続地震観測—東海大学海洋研究所報告 第 36 号, 23-29
- 4) 中央防災会議 (2001)：東海地震に関する専門調査報告書.18pp.

- 5) Hirata and Matsu'ura, (1987) : Maximum-likelihood estimation of hypocenter with Origin time eliminated using nonlinear inversion technique. Earth Planet.Inter., 47, 20-61.
- 6) 弘瀬冬樹・中島遼一・長谷川照 (2007) : Double-Difference Tomography 方による関東地方の三次元地震波速度およびフィリピン海プレートの形状の推定, 60 巻, 3 号, 123-138.
- 7) 一瀬大造・佐野絢太 (2019) : OBS 地震観測による決められた 2018 年 9 月～2019 年 8 月までの駿河湾の震源分布, 東海大学海洋学部卒業論文.
- 8) 気象庁 (2009) : 報道発表資料—平成 21 年 8 月 11 日 05 時 07 分頃の駿河湾の地震について (第 2 報)
- 9) 気象庁 (2011) : 報道発表資料—平成 23 年 8 月 1 日 23 時 58 分頃の駿河湾の地震について—6.
- 10) 気象庁, 震源データ  
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/hypo.html>  
アクセス日 2023 年 12 月 14 日
- 11) 気象庁, 震源リスト  
[https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/daily\\_map/index.html](https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/daily_map/index.html)  
アクセス日 2023 年 12 月 14 日
- 12) 気象庁, 地震観測点 (関東・中部)  
[https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/seis\\_st/Kanto.html](https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/seis_st/Kanto.html)  
アクセス日 2023 年 12 月 14 日
- 13) 気象庁, 東海地震とは  
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nteq/tokai/eq.html>  
アクセス日 2023 年 12 月 14 日
- 14) 鬼頭佳伸 (2022) : 駿河湾海底の地震活動について—2021 年 6 月～2021 年 12 月までに決められた震源の特徴—, 東海大学海洋学部卒業論文,
- 15) 小山真人 (2008) : 東海地震とはどんな地震か. 里村幹夫 (編), 地震防災, 17pp. 学術図書出版.
- 16) 田中秀柔・渡邊勇太 (2020) : OBS 観測による駿河湾の地震活動について—駿河湾の地震活動の特徴—, 東海大学海洋学部卒業論文.
- 17) 竹内達哉・本園駿 (2021) : 駿河湾で決められた地震分布の比較と経年変化—2020 年 8 月～2021 年 5 月までの OBS 震源と JMA 震源について—, 東海大学海洋学部卒業論文.
- 18) ト部 卓・束田進也 (1992) : win—微小地震観測網波形検測支援のためのワークステーション・プログラム ( 強 化 版 )

## 箱根火山周辺地域における地下水の水質特性について

内藤 遥<sup>1)</sup>

1) 日本物理探鉱株式会社 関東支店

### 1. はじめに

火山は様々な自然の恵みをもたらしてくれる。なかでも温泉は火山から我々が受ける最大の恩恵の一つといえるだろう。神奈川県西部に位置する箱根は、日本有数の温泉地であり、箱根カルデラおよびその周辺には温泉地が広がっている。一方でこのような火山体には山麓などに湧出する湧水や火山体内部を流動する地下水がしばしば存在するが、温泉水や火山ガスとの関係については個々の火山体により異なるものである。特に箱根では火山活動の中心地である中央火口丘とその外側では、深部の噴気ガスの影響により地下水の水質組成が異なることが指摘されている(中村, 1958)。そこで本研究では、箱根カルデラ内の地下水および中央火口丘などを囲む周辺の山々である外輪山斜面の地下水を調査し、特に火山活動の影響に焦点をあてながらその水質形成要因を明らかにすることを目的とする。

### 2. 調査対象地域概要

#### 2.1. 調査対象の地域概要および地質概要

対象地域である箱根は神奈川県西部に位置し、南に伊豆半島、西に富士山が存在する(図 1)。都心に近く、観光地や温泉地として有名であり、箱根十七湯と呼ばれ、多様な泉質として知られている。これら温泉は、箱根湯本や強羅、仙石原など、中央火口丘がそびえたつ箱根カルデラ内に存在する。さらに、箱根カルデラ内の大涌谷などでは現在でも噴気活動が継続している。さらにその中心には標高 1438m の神山を最高峰とする中央火口丘があり、西側には堰止湖である芦ノ湖も存在する。このカルデラの外側を形成する外輪山は標高 1000m 以下の中小規模の成層火山から成る。

地質について、箱根火山周辺地域の地質図を図 2 に示す。箱根火山はフォッサマグナの東南に位置する成層火山で、古期外輪山、新規外輪山、中央火口丘からなる三重火山である。箱根火山は約 65 万年前から活動を開始し、その後の大規模な噴火によって、南北 12km、東西 8km のカルデラが形成された。日本シームレス地質図によると、カルデラ内、外輪山共に安山岩~玄武岩質で、一部デイサイト・流紋岩で構成されている。

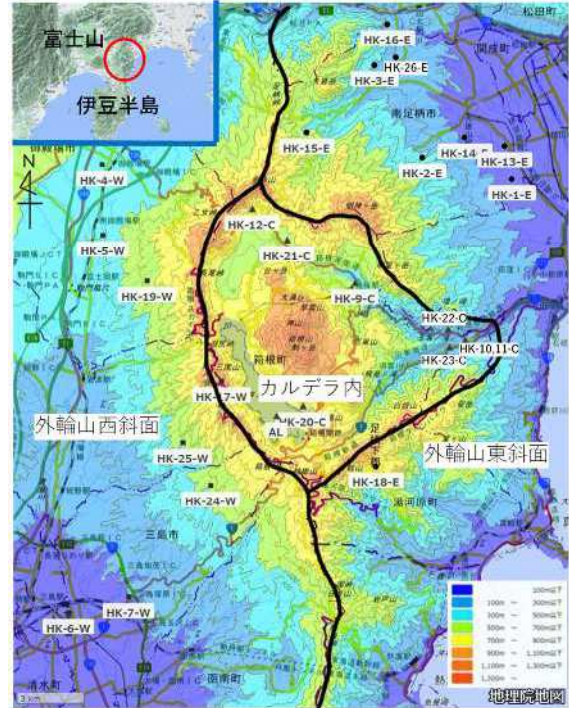


図 1. 調査対象地域における採水地点 (地理院地図より加筆)



図 2. 箱根火山周辺地域の地質図 (日本シームレス地質図より加筆)

## 2.2. 調査対象地域の気候

気象庁の過去の気象データにおいて箱根は気温の平均気温がなかったため、その周辺地域である小田原のデータを使用した。小田原における 2024 年の月ごとの降水量および平均気温を図 3 に示す。気温は 7 月が最も高く、降水量は 8 月が最も多い。しかし、7、9 月は降水量が少ない傾向がある。

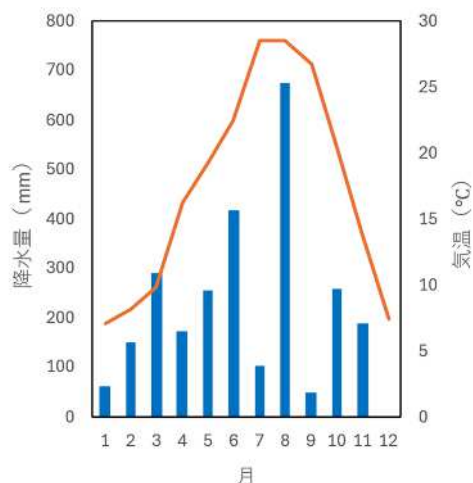


図 3. 小田原における 2024 年の月ごとの降水量および気温の関係 (気象庁, 2024 を使用)

## 3. 調査・分析方法

### 3.1. 調査日および調査地点

調査は 2024 年 3 月 20~21 日, 6 月 8~10 日, 8 月 23~25 日の計 3 回実施した。研究対象地域である箱根火山周辺地域における地点を図 1 に示す。現地調査は 27 か所で行い, HK-4~6-C は 3 月のみ, HK-13~16, 18-E, HK-17, 19-W, HK-23-C は 6, 8 月のみ, HK-24, 25-W, HK-26-E, AL (芦ノ湖) は 8 月のみ行った。さらに, 対象地域を図 1 に示すように, 外輪山東斜面 (-E), 外輪山西斜面 (-W), カルデラ内 (-C) として地下水を区分した。

### 3.2. 現地調査

水温・気温はアルコール 1°C 目盛り棒状温度計にて測定した。EC (電気伝導度), pH については HORIBA 社製の pH/COND メーター D-54 を用いて, EC, pH, 大気 CO<sub>2</sub> と平衡状態にした pH である R<sub>p</sub>H の測定を行った。なお, R<sub>p</sub>H の測定は, エアポンプで十分に通気させたのちに測定を行った。地下水試料を 250mL ポリエチレン瓶に採水した。芦ノ湖に関しては, 採水器を用いて水深 0m および 38m で採水した。なお, 6 月の調査において pH が適正に測れていなかったため, 後日実験室にて pH を測定した。

さらに, 11 月に現地にて, 3 地点 (HK-9-C, HK-16-E, HK-21-C) の採水した水試料 500mL に対して NaOH 溶液 (10N) を約 1mL 加えてアルカリ性にした後, 濃度約 30% の BaCl<sub>2</sub> 溶液を約 5mL 加え, 水試料中の DIC (溶存無機炭素) を回収し, それを用いて炭素同位体組成を求めることを目的とし, BaCO<sub>3</sub> として沈殿させた。

### 3.3. 室内分析

室内分析では N/50H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> を用いて pH4.8 アルカリ度法により HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度の測定を行った。また, イオンクロマトグラフィー (SHIMADZU 製 CLASSLC-10) で溶存イオンである Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> の測定を行った。分析を行う上で EC が 200μS/cm 以下になるように超純水で希釈し, 0.2μm のフィルターを用いてろ過を行った。分析誤差は 3 月において -9.3~18.19%, 6 月において -8.6~21.2%, 8 月において -12.7~0.2% であった。

酸素同位体組成 (δ<sup>18</sup>O) における分析については, CO<sub>2</sub> 平衡により, 質量分析装置 (FISONS 社製 OPTIMA) を用いて行った。分析した δ<sup>18</sup>O 値は以下の式で示すように標準試料を基準とした千分率偏差 (‰) で表す。

$$\delta^{18}\text{O} =$$

$$\left\{ \left( \frac{{}^{18}\text{O}}{{}^{16}\text{O}} \right)_{\text{sample}} / \left( \frac{{}^{18}\text{O}}{{}^{16}\text{O}} \right)_{\text{VSMOW}} - 1 \right\} \times 1000$$

(‰) ... (1)

ここで, sample のことは地下水試料のことであり, VSMOW は国際標準物質である標準平均海水である。

炭素同位体組成 (δ<sup>13</sup>C) における分析については, 現地にて BaCO<sub>3</sub> を沈殿させた水試料をろ過し, BaCO<sub>3</sub> 試料を乾燥・回収した。回収した BaCO<sub>3</sub> 試料のうち 40g を 10Pa 未満の十分な減圧環境下にて H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> と反応させて CO<sub>2</sub> ガスを精製し, このガスについて質量分析装置 (GV Instrument 社製 IsoPrime) を用いて, DIC の炭素同位体組成 (δ<sup>13</sup>C<sub>DIC</sub>) の分析を行った。分析した δ<sup>13</sup>C<sub>DIC</sub> 値は以下の式で示すように標準試料を基準とした千分率偏差 (‰) で表す。

$$\delta^{13}\text{C} =$$

$$\left\{ \left( \frac{{}^{13}\text{C}}{{}^{12}\text{C}} \right)_{\text{sample}} / \left( \frac{{}^{13}\text{C}}{{}^{12}\text{C}} \right)_{\text{V-PDB}} - 1 \right\} \times 1000(\text{‰})$$

... (2)

ここで, sample のことは地下水試料, V-PDB は国際標準試料である PeeDee 層のベレムナイト化石に含まれる CaCO<sub>3</sub> のことである。なお, 本分析における分析装置の精度は ±0.2‰ である。

### 3.4. 気温の加重平均の算出方法

佐藤・鈴木 (1996) をもとに降水量による気温の加重平均の算出を以下のように行った。気温の加重平均を用いて、降水の涵養標高を検討する。気温の加重平均  $T'$  は、 $m$  月の平均気温を  $T_m$  ( $T_m < 0$  の場合は  $T_m = 0$  とする)、降水量を  $R_m$  とした際に、以下の式(3)で表すことができる。

$$T' = \sum_{m=1}^{12} T_m R_m / \sum_{m=1}^{12} R_m \quad \dots(3)$$

式(3)を使用し気温の加重平均を求める際に、気象観測地点における気温と降水量の気象庁アメダスデータを用いた。参照した箱根周辺の気象観測地点と標高は、小田原 (14m)、御殿場 (472m)、三島 (20.5m)、網代 (66.9m) の計 4 地点である。上記 4 地点の気温と降水量の 1991~2020 年までの 30 年間の月別平均気温値と式(3)を用いて算出した加重平均と標高をまとめたものを表 1 に示す。  $T'$  値と標高  $H$  から気温の加重平均の回帰直線を求めた。関係式(4)は以下になった。

$$H = -138.82T' + 2583.05 \quad \dots(4)$$

表 1. 降水量および平均気温、加重平均一覧

地名点	標高 m	平均気温 °C	気温の加重平均 °C
小田原	14	15.6	17.6
御殿場	472	13.2	15.5
三島	20.5	16.3	18.6
網代	66.9	16.3	18.6

### 3.5. 標高補正を行った酸素同位体 ( $\delta^{18}O_{0m}$ ) の算出方法

地下水の酸素同位体組成 ( $\delta^{18}O$ ) は起源となる降水が受けた高度効果によりその値を変化させていることが考えられる。しかしながら地下水が湧水となって湧出する際にはその湧水によって湧出標高が異なるため、測定した湧水の  $\delta^{18}O$  値のみから湧水の涵養標高についての比較や議論を行うことができない。そこで、調査対象地域の地下水  $\delta^{18}O$  値に一般的に認められている、高度効果  $-0.2\%/100m$  (宮下, 2001) を用いて  $\delta^{18}O$  値を補正した。測定値 ( $\delta^{18}O_{\text{測}}$ ) と湧出標高  $H$  (m) から以下の式(5)より地下水試料ごとに異なる湧出標高を全て 0m と考えたときの値 ( $\delta^{18}O_{0m}$ ) を算出した。

$$\delta^{18}O_{0m} = \delta^{18}O + (0.2/100) \times H \quad \dots(5)$$

湧出標高を 0m とした場合のイメージ図を図 4 に示す。  $\delta^{18}O_{0m}$  値が大きい (重い) 場合、流動系が小さく、  $\delta^{18}O_{0m}$  値が小さい (軽い) 場合、流動系が大きいとみることができ、  $\delta^{18}O_{0m}$  値は流動系の大小として扱うことが可能となる。

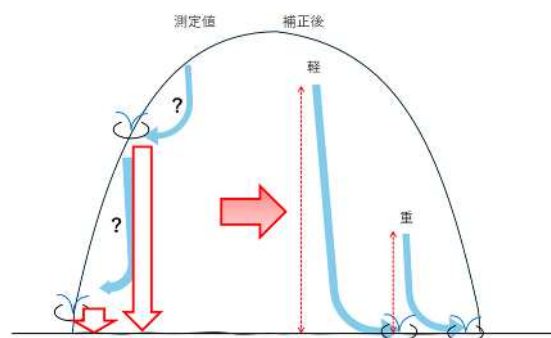
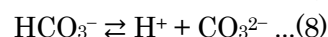
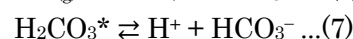
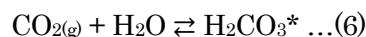


図 4. 標高について補正を行った酸素同位体組成の概念図

### 3.6. DIC 濃度および $CO_2$ 分圧 ( $\log P_{CO_2}$ ) の算出方法

溶存無機炭素 (DIC) は、pH によって  $H_2CO_3^*$ 、 $HCO_3^-$ 、 $CO_3^{2-}$  の異なる 3 つの形態をとる。  $CO_2$  分圧 ( $\log P_{CO_2}$ ) は、地下水中に  $CO_2$  がどの程度供給されているのかを表すものである。これらの DIC が pH に応じて変化する式については以下のように表すことができる。



上記 3 つの式の平衡定数  $K_H$ 、 $K_1$  および  $K_2$  は以下のようなになる。

$$K_H = [H_2CO_3^*] / [P_{CO_2}] \quad \dots(9)$$

$$K_1 = [H^+][HCO_3^-] / [H_2CO_3^*] \quad \dots(10)$$

$$K_2 = [H^+][CO_3^{2-}] / [HCO_3^-] \quad \dots(11)$$

また、平衡定数  $K_H$ 、 $K_1$  および  $K_2$  は水温  $T$  (°C) との間以下に式が成り立つ (Clark and Fritz, 1997)。

$$pK_H = -7 \times 10^{-5} T^2 + 0.016 T + 1.11 \quad \dots(12)$$

$$pK_1 = 1.1 \times 10^{-4} T^2 - 0.012 T + 6.58 \quad \dots(13)$$

$$pK_2 = 9 \times 10^{-5} T^2 - 0.0137 T + 10.62 \quad \dots(14)$$

これらの関係から、25°Cにおいて  $HCO_3^-$  の DIC

に占める割合が最も高くなるのは pH = 8.3 のときであり, pH が 8.3 よりも小さいと H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>\* と HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> が, pH が 8.3 よりも大きいと HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> と CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> が DIC を占める形になる. 本研究における地下水の pH は 6.29~7.8 であることから, DIC のほとんどが HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> であり, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>\* はわずかに含まれていることがわかる. また, 以下の式から地下水の DIC 濃度が求められる.

$$[DIC] = [H_2CO_3^*] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] \quad \dots(15)$$

これらをもとに算出された H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>\* から(9)の式を用いて logPco<sub>2</sub> を算出することが可能である. これらの方法によって本調査で採水した水試料において, DIC 濃度および logPco<sub>2</sub> を算出した.

### 3.7. CO<sub>2</sub> の炭素同位体組成 (δ<sup>13</sup>C<sub>Equil-CO<sub>2</sub></sub>) の算出方法

上述したように DIC は H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>\*、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> の 3 形態を持つ. したがって, δ<sup>13</sup>C<sub>DIC</sub> と溶存無機炭素種の炭素同位体組成 (δ<sup>13</sup>C<sub>H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>\*</sub>, δ<sup>13</sup>C<sub>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></sub>, δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></sub>) について以下の式で表すことができる (Vogel et al., 1970; Mook et al., 1974; Denies et al., 1974).

$$\delta^{13}C_{DIC} = (\delta^{13}C_{H_2CO_3^*}[H_2CO_3^*] + \delta^{13}C_{HCO_3^-}[HCO_3^-] + \delta^{13}C_{CO_3^{2-}}[CO_3^{2-}]) / [DIC] \quad \dots(16)$$

この(16)式において, 同じ CO<sub>2</sub> が DIC の起源であったとしても各同位体組成の割合が pH によって大きく変化するため, δ<sup>13</sup>C<sub>DIC</sub> は pH に応じて大きく変化する. したがって DIC の起源を推定するためには DIC の炭素同位体組成 (δ<sup>13</sup>C<sub>DIC</sub>) から地下水に対して平衡状態にある CO<sub>2</sub> の炭素同位体組成 (δ<sup>13</sup>C<sub>Equil-CO<sub>2</sub></sub>) を求める必要がある. δ<sup>13</sup>C<sub>Equil-CO<sub>2</sub></sub> 値は以下の式から求めることができる.

まず, 各溶存炭素種と CO<sub>2(g)</sub> との間の同位体分別係数 α (α<sup>13</sup>C<sub>H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-CO<sub>2(g)</sub></sub>, α<sup>13</sup>C<sub>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-CO<sub>2(g)</sub></sub>, α<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-CO<sub>2(g)</sub></sub>) と水温 T (K) との間には以下の式が成り立つ (Vogel et al., 1970; Mook et al., 1974; Denies et al., 1974) .

$$10^3 \ln \alpha^{13}C_{H_2CO_3^*-CO_2(g)} = -0.373(10^3 T^{-1}) + 0.19 \quad \dots(17)$$

$$10^3 \ln \alpha^{13}C_{HCO_3^-*CO_2(g)} = 9.552(10^3 T^{-1}) - 24.10 \quad \dots(18)$$

$$10^3 \ln \alpha^{13}C_{CO_3^{2-}*CO_2(g)} = -0.87(10^6 T^{-2}) - 3.4 \quad \dots(19)$$

上記(17)~(19)式より, 仮の δ<sup>13</sup>C<sub>Equil-CO<sub>2</sub></sub> 値を与えることで各溶存炭素種の炭素同位体組成を求めることができる. また, (9)~(15)式より各溶存炭素種の濃度および DIC 濃度を算出している. 以上のことより, (16)式に δ<sup>13</sup>C<sub>DIC</sub> 値および各溶存炭素種を与えたうえで, 測定値 (δ<sup>13</sup>C<sub>DIC</sub>) と算出値が一致するような δ<sup>13</sup>C<sub>Equil-CO<sub>2</sub></sub> 値を求めた.

## 4. 結果

### 4.1. 水温

本調査の現地調査における湧水温の結果を表 2a, 2b, 2c に示す. 3月 は温泉水の HK-11-C (42.3°C) を除いて, 10.5~15.4°C であった. 6月 は 12.2~22.8°C であった. 8月 は AL (芦ノ湖) を除き, 15.2~23.1°C であった. 3, 6, 8月の水温と標高の関係を図 5a, 5b, 5c に示す. ほぼすべての地点で 3月 から 8月 にかけて湧水温が上昇したことがわかる. 中でも 6, 8月 における地下水のほとんどは気温の加重平均と標高との間に求められた回帰直線よりも水温の高い領域にプロットされた.

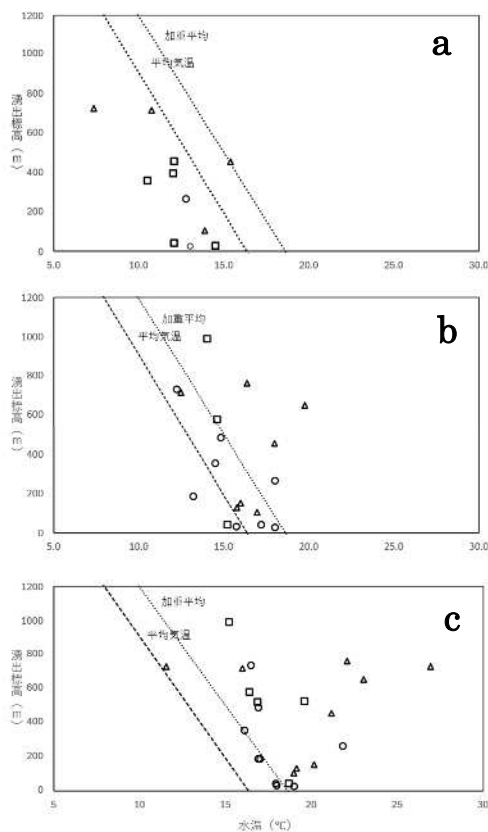


図 5 a) 3月, b) 6月, c) 8月における水温と標高の関係 (○は外輪山東斜面, □は外輪山西斜面, △はカルデラ内湧水を表す)





#### 4.2. pH

本調査の現地調査における pH の結果を表 2a, 2b, 2c に示す. pH は季節による変化があまりなかったように見える. 8 月において, 弱酸性~弱アルカリ性を示し, 最も pH が高かった地点は HK-3-E で 7.8, 最も低かった地点は HK-25-W で 6.29 であった.

#### 4.3. EC

本調査の現地調査における EC を表 2a, 2b, 2c に示す. 200 $\mu$ S/cm 以下の地点が多かった. 最も高かった地点は HK-9-C で, すべての調査において 500 $\mu$ S/cm を超えた. HK-21-C は 300 $\mu$ S/cm に近い値だった.

#### 4.4. 主要溶存イオン

地下水の水質組成の空間分布においてヘキサダイアグラムを用いて図 6a, 6b, 6c に示す. HK-10-C は横軸が 9meq/L である. HK-9-C は Ca-Cl 型, HK-10-C, 6 月の HK-17-W は Na-HCO<sub>3</sub> 型, HK-21-C は Ca-SO<sub>4</sub> 型, これ以外における地下水の地点は全て Ca-HCO<sub>3</sub> 型を示した. なかでもカルデラ内に存在する HK-9-C, HK-21-C は他地点と比べ, イオン濃度が高く, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度も高かった. 一般的な地下水の Ca-HCO<sub>3</sub> 型とは大きく異なる形となった. 水質組成のパイパートリニアダイアグラムの結果を図 7 に示す. HK-9-C, HK-21-C はこれ以外の地下水

試料とは異なる領域にプロットされた. これら以外の地下水のカルデラ内の地下水の一部はカルデラ内の両地下水と外輪山東側・西側に認められる典型的な Ca-HCO<sub>3</sub> 型の中間的な位置にプロットされることが特徴である.

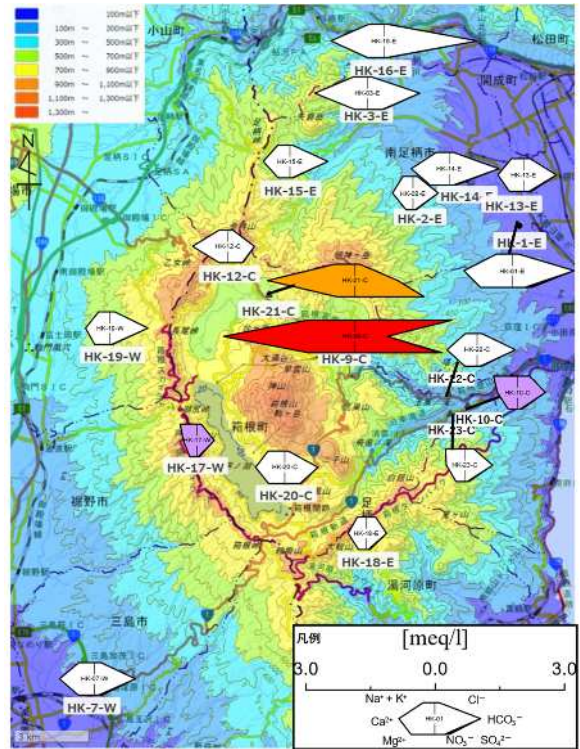


図 6b. 6 月のヘキサダイアグラムの空間分布

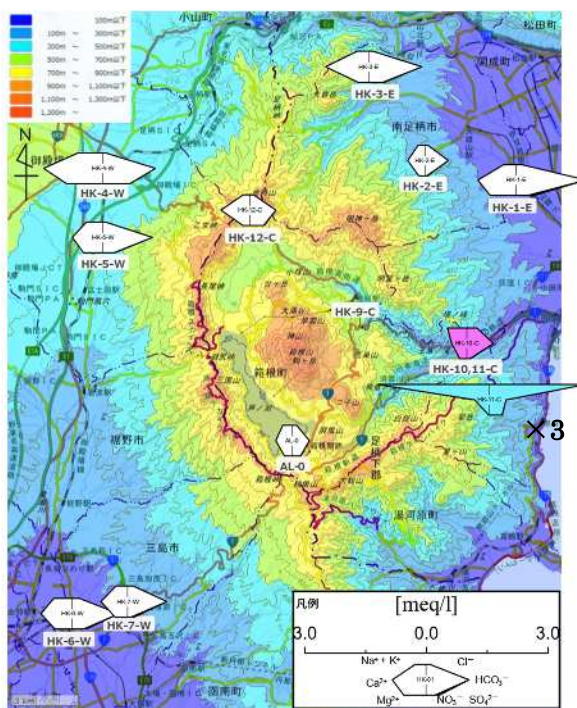


図 6a. 3 月のヘキサダイアグラムの空間分布

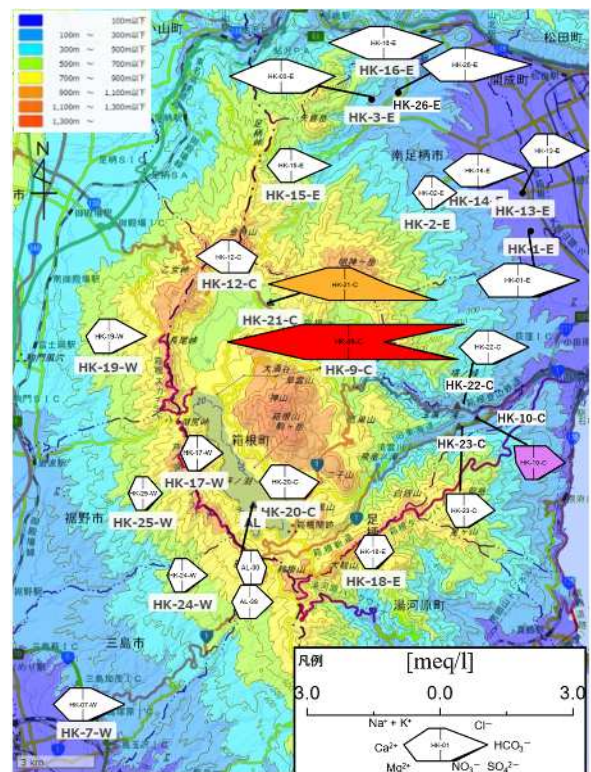


図 6c. 8 月のヘキサダイアグラムの空間分布

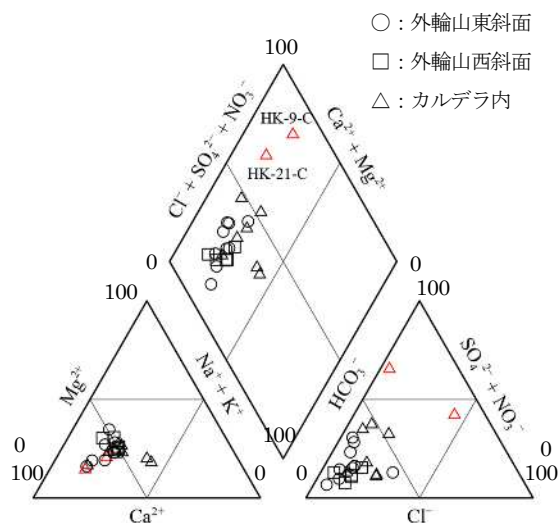


図 7.8月の地下水の水質組成 (ハイパー・トリリニアダイアグラム)

4.5. 酸素同位体および標高について補正を行った酸素同位体組成

測定値から得られた $\delta^{18}O$  値および $\delta^{18}O_{0m}$  値の空間分布を図 8a, 8b に示す. 図 8a をみるに目立った空間分布の特徴は認められない. 一方, 湧出標高を 0m に補正した $\delta^{18}O_{0m}$  値については, 標高との間に明瞭な関係が認められる. すなわち, 高標高において, 地下水の $\delta^{18}O_{0m}$  値は重く, 低標高に向かうにつれ,  $\delta^{18}O_{0m}$  値が軽くなる (図 8b). これは, 標高と $\delta^{18}O_{0m}$  値との関係図 (図 9) においても明瞭に認められ, 標高を y,  $\delta^{18}O_{0m}$  値を x としたときの両者の

近似式は  $y = 340.34x + 2797.8$  であった.

4.6. DIC および  $\log P_{CO_2}$

溶存無機炭素である DIC と二酸化炭素分圧を表す  $\log P_{CO_2}$  の関係を図 10 に示す. 両者の間には大まかに正の相関関係が認められた. 何れも大気  $CO_2$  ( $-3.4atm$ ) よりも高い値を示した. その中で HK-16-E は  $\log P_{CO_2}$  が高く, DIC 濃度も最も高かった.

4.7. DIC の炭素同位体組成および地下水と平衡状態にあった  $CO_2$  の炭素同位体組成

地下水が持つ DIC の炭素同位体組成 ( $\delta^{13}C_{DIC}$ ) と DIC 濃度の関係を図 11 に示す. 測定した 3 地点において $\delta^{13}C_{DIC}$  は $-17.0\sim-14.2\%$ であった. pH によって $\delta^{13}C_{DIC}$  が変化するため, C3 植物由来の有機物が地下水に影響を与えている場合, 地下水の DIC の $\delta^{13}C$  値と  $CO_2$  の $\delta^{13}C$  値は必ずしも一致しない. そのため, 実際に平衡状態にあった  $CO_2$  の炭素同位体組成 ( $\delta^{13}C_{Equil-CO_2}$ ) を求める必要がある. 求めた  $\delta^{13}C_{Equil-CO_2}$  値は $-22.6\sim-11.75\%$ であり, 一般的な C3 有機物 $-27\%$  (山中, 2024) よりも高かった. 地下水と平衡状態にあった  $CO_2$  の同位体組成 ( $\delta^{13}C_{Equil-CO_2}$ ) と  $\log P_{CO_2}$  の関係を図 12 に示す.  $\delta^{13}C_{Equil-CO_2}$  と  $\log P_{CO_2}$  において正の相関がみられた.  $\delta^{13}C_{Equil-CO_2}$  に関して HK-9-C が $-22.6\%$ と最も低く, HK-16-E が $-11.75\%$ と最も高く, 何れも一般的な C3 植物由来の $\delta^{13}C$  値 ( $-27\%$ ) とは異なり, これよりも明らかに重い $\delta^{13}C$  値を持つ値となった.

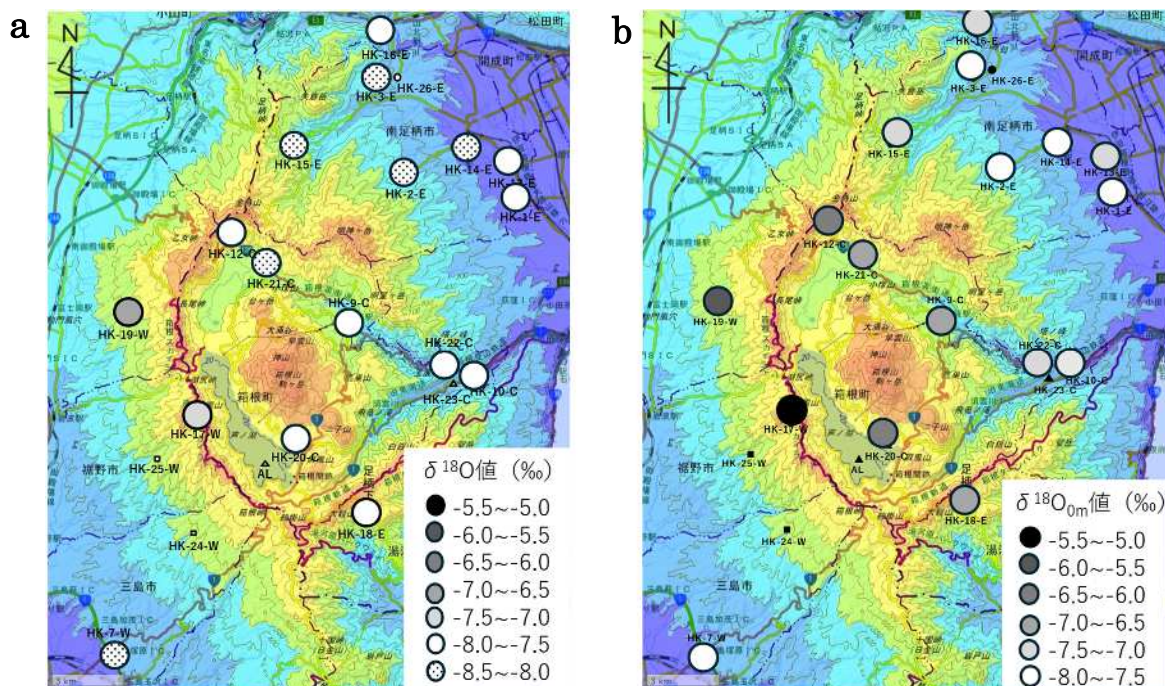


図 8 a)  $\delta^{18}O$  値の空間分布, b)  $\delta^{18}O_{0m}$  値の空間分布

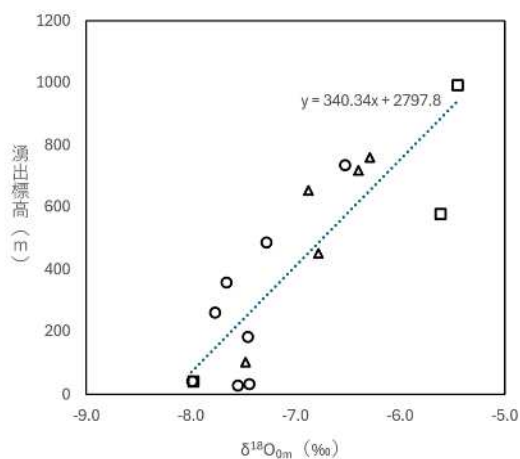


図 9.  $\delta^{18}O_{am}$  値と標高の関係

○ : 外輪山東斜面  
 □ : 外輪山西斜面  
 △ : カルデラ内

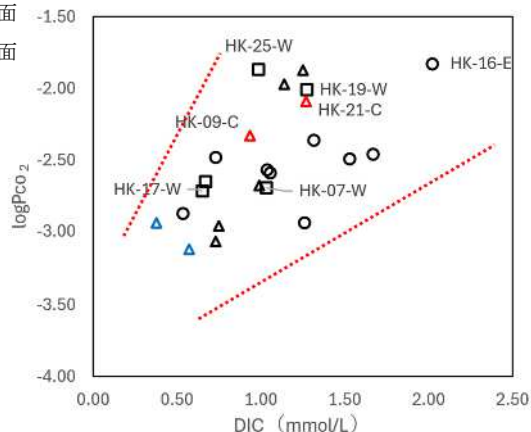


図 10. DIC と  $\log P_{CO_2}$  の関係

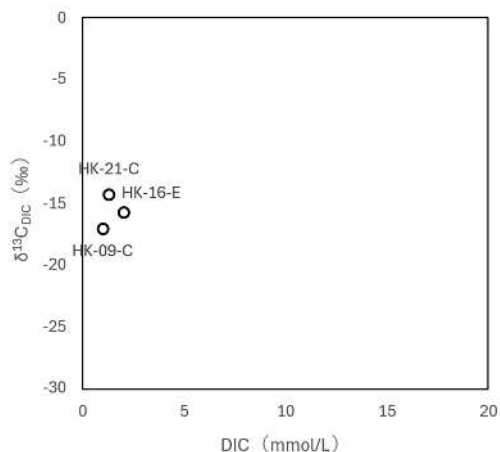


図 11. DIC と  $\delta^{13}C_{DIC}$  の関係

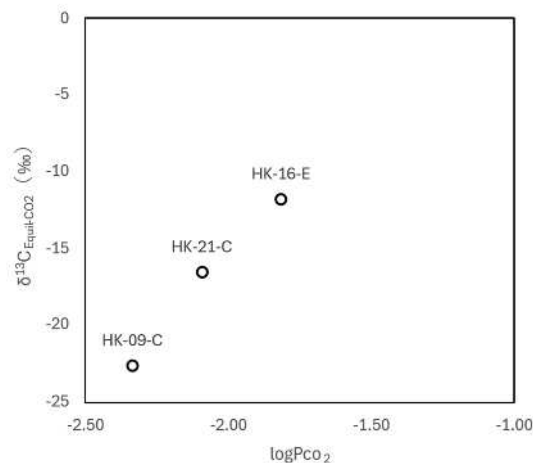


図 12.  $\log P_{CO_2}$  と  $\delta^{13}C_{Equit-CO_2}$  の関係

## 5. 考察

### 5.1. 温泉水の混入の影響の検討

カルデラ内には大涌谷など火山噴気口も存在しており、温泉地も存在している。この様なカルデラ内には、地下水試料 HK-9-C, HK-21-C に認められるように、溶存イオン濃度、なかでも  $SO_4^{2-}$  濃度が高いなど温泉水にしばしば認められる特徴を持つ地下水が顕著に認められた。さらに、本調査において箱根火山の中心に近いところに  $Cl^-$  濃度が富んでいる地下水が存在し、その外側に  $SO_4^{2-}$  濃度が富んでいるものが、最も外側に  $HCO_3^-$  型の地下水が存在し、これは、秋田焼山火山周辺の地熱水の分布(松葉谷, 1991) と一致する。これらのことから、これら地下水は温泉水による影響を受けている可能性がある。その可能性については炭素同位体を用いた定量的な影響の検討についてはのちに行うこととする。

この2地点における地下水試料はこれ以外の試料と比べ溶存イオン量が明らかに高く、水質組成も大きく異なることから今後の考察ではこれ以外の水質

形成要因について検討を行っていくこととする。

### 5.2. 地下水流動の推定

地下水は涵養されてから湧出するまでの間に、地下で多様な影響を受け、その水質組成を変化させる。したがって、地下水の水質形成要因を明らかにする上ではその流動系がどの様であるかを理解することが重要である。そこで、本研究は以下に地下水流動の検討を行うこととする。

#### 5.2.1. 気温の加重平均を用いた流動の推定

地下水は主に降水によって涵養され、降水の水温は降った際の気温の影響を受け、涵養時の降水の水温を維持したまま湧出するとされる。つまり、この水温は降水量が多い時期の影響を強く受ける。そこで、地域の降水量によって重み付けした気温の加重平均を涵養水温とみなすことで、地下水の水温から涵養標高を推定することが可能であると言える。図 5a, 5b, 5c をみると、3~8 月にかけて湧水温が上

昇していることから、気温の影響を受け、湧水温の上昇が認められる。これは、対象とする地下水の流域面積が小さいことで水温の季節変化が生じたといえる。気温の加重平均を用いた涵養標高の算出は、流域面積が大きく、1年を通して湧水温が変化しない場合に適応が可能となる。よって、対象地域の地下水は気温の加重平均を用いた流動推定を行う上で適当な結果を得られなかった。実際に6, 8月における地下水のほとんどは気温の加重平均と標高との間に求められた回帰式(4)よりも水温の高い領域にプロットされておりこの考えを支持するものである。

### 5.2.2. 酸素同位体組成を指標とした流動の推定

雨として降る際に、選択的に重い同位体組成のH<sub>2</sub>Oが降り、標高が高くなるにつれ、軽い同位体組成のH<sub>2</sub>Oが降ってくる。この高度効果を利用することで涵養標高の推定ができ、流動系の推定が可能である。そこで、酸素同位体組成を用いて流動の推定を行う。

上述のように、標高をもとに補正を行った酸素同位体組成( $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ )は地下水の流動の大きさを反映する指標として活用できる可能性がある。そこで $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ の傾向から、高標高で $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ が重く、低標高で $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ が明瞭に認められる。このような $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ の差が高度効果のみに依存するものとするれば高標高域の地下水の流動系が小さく、低標高域のものはこれが大きいと解釈することができる。さらに、 $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ 値の最も高かったHK-17-W(-5.4‰)と最も低かったHK-14-E(-8‰)の差は2.6‰であり、式(5)で利用した高度効果を用いて、 $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ 値の標高差 $\Delta H$ を算出した式(20)により検討を行った。

$$\Delta H = \Delta\delta^{18}\text{O}_{0m} / 0.2 \times 100 \dots(20)$$

その結果、1300mであった。しかし、実際の標高差は949mであり。算出した標高差が実際の標高差より高くなった。つまり、実際の涵養標高の差が約350mあると考えられる。

以上のように、 $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ は地下水流動の大きさを反映する指標として利用できると考えられる。湧出標高との関係を示した図9をみると、湧出標高が低くなるほど $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ 値が小さくなり、流動系が大きくなることが認められる。

### 5.3. 流動系を指標としたCa<sup>2+</sup>濃度およびHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度

先述のように、 $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ は流動系の大小の指標として利用することができる。そこで、流動に伴い地下

水が水質組成をどのように変化させるのか検討を行う。湧出標高を0mに補正した $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ 値とCa<sup>2+</sup>濃度およびHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の関係をそれぞれ図13, 14に示す。その結果両者に負の相関(相関係数-0.45, -0.55)が認められた。つまり、流動が大きくなるにつれCa<sup>2+</sup>濃度およびHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が高くなることを表している。対象地域の地下水はCa-HCO<sub>3</sub>型が多く、Ca<sup>2+</sup>とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>が富んでいる。これらの溶存イオン濃度が流動に伴いどのように変化していくのか検討を行うこととする。

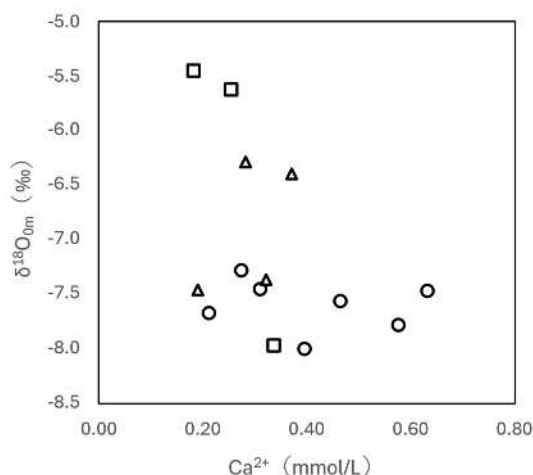


図 13. Ca<sup>2+</sup>濃度と $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ 値の関係

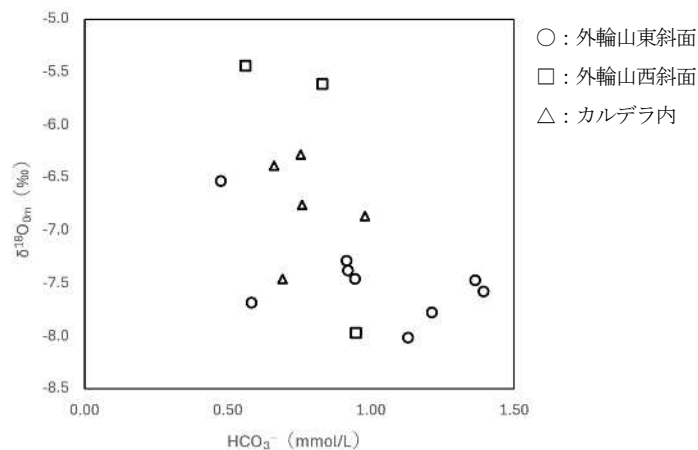
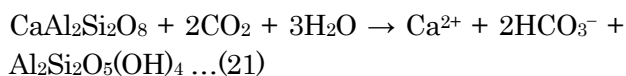


図 14. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度と $\delta^{18}\text{O}_{0m}$ 値の関係

### 5.4. 流動距離をもとにした造岩鉱物の風化の影響

先述したように流動に伴い、Ca<sup>2+</sup>濃度およびHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が増加していることがわかった。地下水は地質の影響を受けながら水質組成を変化させ流下していく。これについて考えると、対象地域を構成する主な火成岩は、安山岩、玄武岩質安山岩、デイ

サイト, 流紋岩である. これらの火山岩を構成する, 特に灰長石の風化について検討する. カオリナイトへの風化反応式は以下で表すことができる.



これより,  $\text{Ca}^{2+}:\text{HCO}_3^- = 1:2$  のモル比で付加されると考えられる.  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度と  $\text{HCO}_3^-$ 濃度の関係および式(21)の理論線を図 15 に示す. その結果, 理論線の近くにプロットされたことから, 灰長石の風化反応が地下水の水質形成に強く影響を与えているものといえる.

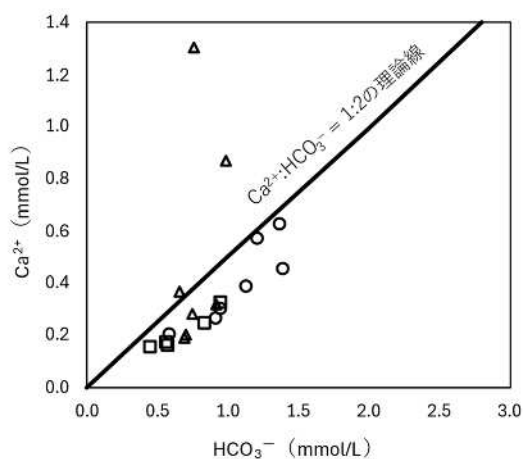


図 15.  $\text{HCO}_3^-$ 濃度と  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度の関係

### 5.5. 炭素同位体を用いた温泉水の定量的影響の評価

地下水流動は(21)式が大きく影響を与え,  $\text{CO}_2$  が関与している. その起源となる有機物を知ることはこの反応を理解する上で重要となる. そこで, 先述した温泉水の影響を受けている可能性について, 炭素同位体を用いて検討を行うこととする.

図 11 より, HK-9-C, HK-21-C は  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  値が  $-17\text{‰}$ ,  $-15.7\text{‰}$  と一般的な C3 有機物  $-27\text{‰}$  (山中, 2024) よりも高い値を持ち, 地下からの火山ガスの影響が示唆される. ここで, 異なる水体の混合が起きていた場合には, 濃度の逆数 ( $1/\text{DIC}$ ) と同位体組成 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) について成立する次式により理解することができる (山中, 2024). a, b は定数を表す.

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = a \times 1 / [\text{DIC}] + b \dots(22)$$

深部由来の影響を受けた地下水を  $\text{DIC} = 30\text{mmol/L}$ ,  $\delta^{13}\text{C} = -4.5\text{‰}$ , 土壌  $\text{CO}_2$  の影響を受けた地下水を  $\text{DIC} = 1\text{mmol/L}$ ,  $\delta^{13}\text{C} = -27\text{‰}$  とした時の水体の混合曲線を図 16 に示す. 図 16 をみても, 炭素同位体を測定した 3 地点では, 深部由来の地下水との混合が 2.5~5%程度あったと考えられる.

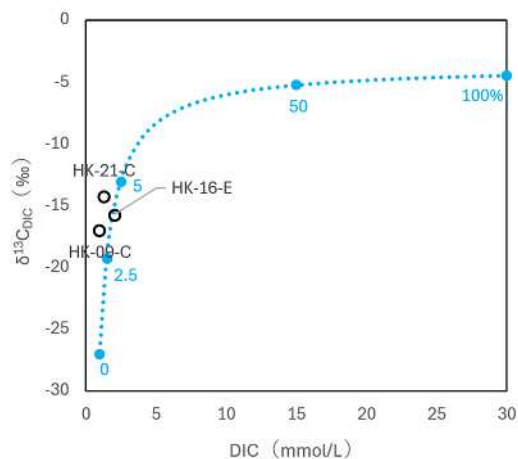


図 16.  $\text{DIC}$  濃度と  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  値の関係および深部由来の影響を受けた地下水 ( $\text{DIC} = 30\text{mmol/L}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = -4.5\text{‰}$ ) と土壌  $\text{CO}_2$  の影響を受けた地下水 ( $\text{DIC} = 1\text{mmol/L}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = -27\text{‰}$ ) との混合モデル曲線

次に, 深部由来の  $\text{CO}_2$  が寄与した場合について検討する. HK-9-C, HK-16-E, HK-21-C の  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Equil-CO}_2}$  値はそれぞれ  $-22.6\text{‰}$ ,  $-11.75\text{‰}$ ,  $-16.5\text{‰}$  となった (図 12). 深部由来の  $\text{CO}_2$  の  $\delta^{13}\text{C}$  を  $-4.5\text{‰}$  (山中, 2024), 一般的な C3 有機物を  $-27\text{‰}$  (山中, 2024) とした際に HK-9-C は 20%, HK-16-E は 66%, HK-21-C は 45%程度, 深部由来の  $\text{CO}_2$  の寄与率が求められた (図 17).

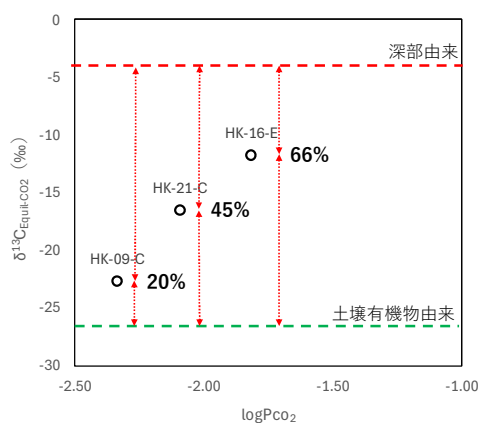


図 17.  $\log\text{Pco}_2$  と  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Equil-CO}_2}$  値の関係および深部由来の  $\text{CO}_2$  の寄与率

これらのことから、対象地域において一部火山活動の影響を受けた地下水が存在するといえる。

## 6. まとめ

本研究で得られた結果・考察によって考えられる地下水流動に伴う水質形成の模式図を図 18 のようにまとめられる。

標高について補正を行った酸素同位体組成 ( $\delta^{18}\text{O}_{0m}$  値) を用いた結果、低標高に向かうにつれ  $\delta^{18}\text{O}_{0m}$  値が軽くなり、流動系が大きくなることがわかった。

$\delta^{18}\text{O}_{0m}$  値と  $\text{HCO}_3^-$  濃度、 $\text{Ca}^{2+}$  濃度についてそれぞれ相関をとると、おおむね負の相関がみられた。これらの地下水は主に灰長石の風化反応により、水質が形成されていると考えられる。

HK-9-C, HK-21-C は溶存イオン濃度が高く、温泉水に認められる  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度も高い地下水について、炭素同位体組成を用いた結果、深部由来の  $\text{CO}_2$  の影響を受けた地下水と混合した場合、2.5~5%程度の混合率が求められた。深部由来の  $\text{CO}_2$  ガスが直接地下水に寄与していた場合は、HK-9-C は 20%, HK-21-C は 45%, HK-16-E は最も高い 66% と求められた。これらのことから、箱根火山周辺地域では一部噴気活動の影響を受けた地下水が存在するといえる。

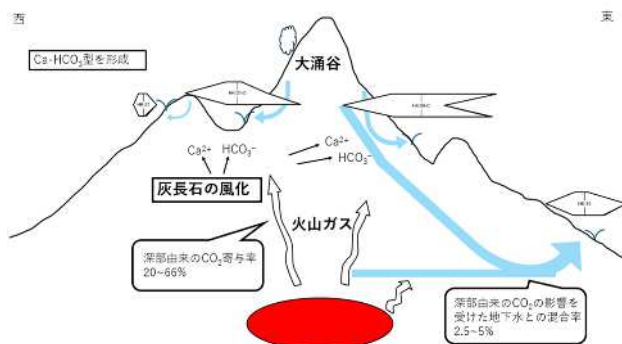


図 18. 箱根火山周辺地域における地下水流動に伴う水質形成の模式図

## 参考文献

- 1) Clark, I. and Fritz, P. (1997) : Environmental Isotopes in Hydrogeology. Lewis Publishers, New York, 115-117.
- 2) Deines, P., Langmuir D. and Harmon, R.S. (1974) : Stable carbon isotope ratios and the existence of gas phase in the evolution of carbonate ground waters. Geochimica et Cosmochimica Acta, 38 : 1147-1164.
- 3) Vogel, J.C., P.M.Grootes and W.G.Mook (1970) : Isotope fractionation between gaseous and dissolved carbon dioxide. Zeitschrift fur Physik, 230 : 225-238.
- 4) 佐藤新・鈴木裕一 (1996) : 富士山の湧水および地下水の水質について, 日本地下水学会誌, 26(1), p23-34
- 5) 中村久由 (1958) : 本那温泉の地域性について—其の一—火山地帯温泉, 地学雑誌, 67(3), 709
- 6) 松葉谷 治 (1991) : 「熱水の地球化学」, 裳華房, p82-84
- 7) 宮下雄次 (2001) : 酒匂川流域における流域平均標高と河川水の酸素同位体比との関係, 神奈川県温泉地学研究所報告, 32, p7
- 8) 山中 勝 (2024) : 地下水トレーサー-3. 炭素同位体—炭素安定同位体特性の理解を通じて与えられる地下水の動きに対する制約条件—, 地下水学会誌, 66(4), p306-307
- 9) 気象庁 (2024) : 過去の気象データ検索. <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/> (2025.01.21 閲覧)
- 10) 国土地理院 (2024) : 地理院地図. [https://maps.gsi.go.jp/#12/35.126704/139.035690/&base=std&ls=std%7Crelief\\_free%2C0.5%7CgsjGeomap\\_G200\\_NI54\\_3233shizuoka2nd%7CgsjGeomap\\_G200\\_NI54\\_26yokosuka2nd%7Chillshademap%2C0.19%7Cseamlessphoto%2C0.75%7Clum4bl\\_capital2005&blend=100000&disp=1100000&vs=c0g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m&reliefdata=064G0000FFG12CG0095FFG1F4G00EEFFG2BCG91FF00G384GFFFF00G44CGFF8C00G514GFF6800GGFF4400](https://maps.gsi.go.jp/#12/35.126704/139.035690/&base=std&ls=std%7Crelief_free%2C0.5%7CgsjGeomap_G200_NI54_3233shizuoka2nd%7CgsjGeomap_G200_NI54_26yokosuka2nd%7Chillshademap%2C0.19%7Cseamlessphoto%2C0.75%7Clum4bl_capital2005&blend=100000&disp=1100000&vs=c0g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m&reliefdata=064G0000FFG12CG0095FFG1F4G00EEFFG2BCG91FF00G384GFFFF00G44CGFF8C00G514GFF6800GGFF4400) (2025.01.21 閲覧)
- 11) 産総研 (2024) : 地質図 Navi. <https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php#12,35.21103,139.06388> (2024.12.20 閲覧)

## 模擬地震波作成業務の紹介

岡嶋 眞一<sup>1)</sup>

1) 日本物理探鑛株式会社 企画本部

### 1. はじめに

模擬地震波は、設計用入力地震動として、建築構造物（超高層・免震・制振など）や土木構造物（道路、橋梁、港湾・電力設備など）の地盤基礎に入力する地震波で、設計された構造物の性能評価に利用されている。

土木構造物では、地盤種別毎に動的解析に用いられる標準加速度波形が決められている。

建築構造物では構造物周辺の地震特性を考慮して、地震動を選択することになっている。超高層(高さ 60m 以上)および免震・制振構造物では動的解析が必要とされている。

以下では業務で作成した事例を紹介する。調査業務では建築構造物地点で、調査ボーリング、常時微動測定やPS 検層が実施されている。

### 2. 模擬地震波(設計用入力地震動)の種類

表 1 は構造物の性能評価で使用される設計用地震動のリストである。

表 1 性能評価に使用する設計用地震動<sup>1)</sup>

種別	概要	地震動の必要数	
		希に発生する地震	極めて希に発生する地震
告示波	告示のスペクトルにフィッティングする地震波	3	3
標準波	過去の著名な観測地震波(EL Centro NS など)	3 <sup>(1)</sup>	3 <sup>(2)</sup>
基整促波	国土交省が作成方法を定めた長周期域に特化した地震波	-	1 <sup>(3)</sup>
サイト波	特定の活断層について断層モデルで計算した地震波	-	3 <sup>(4)</sup>

(1):最大速度 250Zcm/s (2):最大速度 500Zcm/s (Z: 地域係数)  
 (3):指定地域のみ。 (4):告示波 1 波以上と合わせて 3 波

告示波は建築基準法により、レベル 2(極めて希に発生する地震動)とレベル 1(希に発生する地震動)の 2 種類が指定されている(図 1 参照)。

標準波は告示波の登場以前に利用されていた模擬地震波で、継続性保持のため残されている(EL Centro NS など)。本事例では作成していない。

基整促波は、近年の大地震で建築構造物被害への影響の大きさが認識された長周期成分に着目して、国土交通省が、建築整備促進事業(以下、基整促)で作成した地震波である。基整促波は、告示波が一般的

な大地震を表すのに対し、地震・地盤特性を反映した上で主に長周期成分について補完するものであり、極めて希に発生する地震に分類されている。

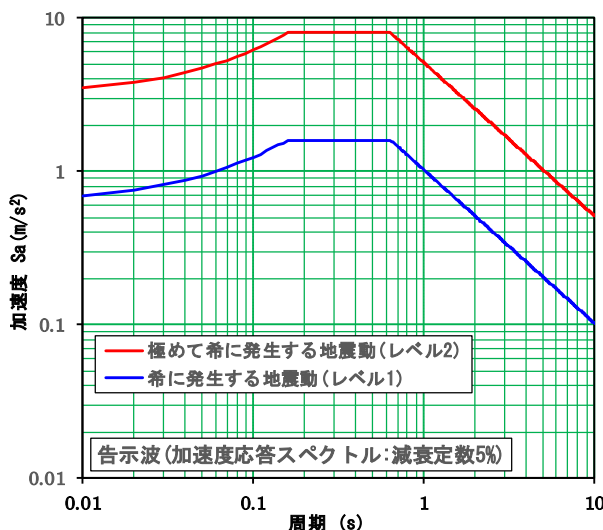


図 1 告示波(建築基礎構造設計指針<sup>2)</sup>による)

サイト波は、上記の地震動以外で、建設地点周辺における活断層・地盤構造等の状況から必要に応じて作成する地震動である。サイト波は極めて希に発生する地震に分類されているが、再現期間が長い地震動については「参考扱い」とすることも多い。

図 2 に模擬地震波作成の流れを示す。

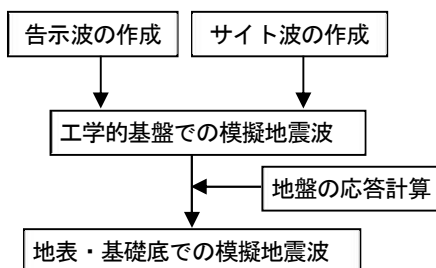


図 2 模擬地震波作成の全体の流れ

### 3. 業務における模擬地震波作成

#### 3.1 告示波の作成

通常、各調査地点における表層地盤の特性は異なっている。告示波は、開放工学的基盤面における加速度応答スペクトルとして定義されている。また、地域別補正係数(Cz: 建築基準法施行令 88 条 1 項の Z 値)を考慮する(例えば、東京都は Cz=1.0)。

位相特性に対する考え方は、①観測波形の位相特



性を用いる方法と、②乱数により位相特性をランダムに設定する方法がある。業務例では、①及び②の方法を用いて模擬地震波を作成した。

告示波作成(図 3 参照)には、十勝沖地震(1968)の八戸港湾の観測波形(NS・UD 成分)と、兵庫県南部地震(1995)の神戸海洋気象台(JMA 神戸と改称)の観測波形(NS・EW・UD 成分)を使用した。図 4 に各観測波を示す。

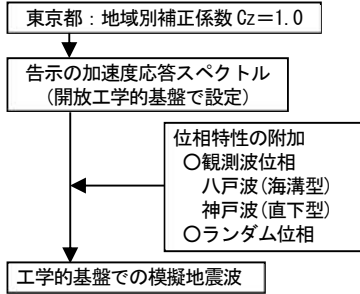


図 3 告示波作成の流れ

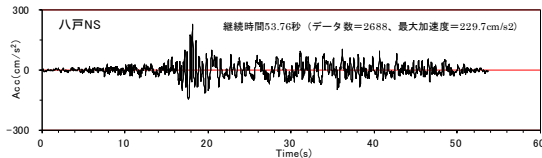


図 4(1) 八戸波(八戸港湾観測波)

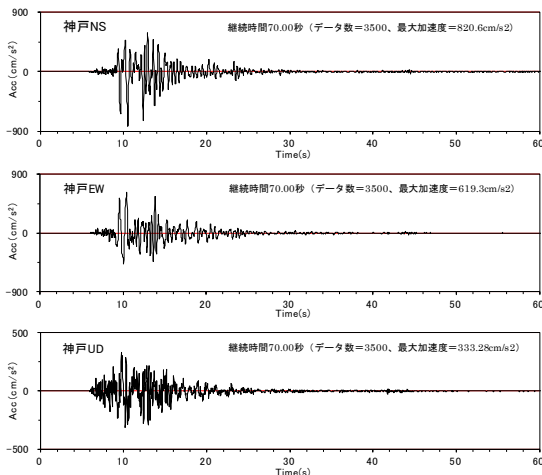


図 4(2) 神戸波(神戸海洋気象台観測波)

告示波は、図 1 の加速度応答スペクトルに合うように観測波形のスペクトルを修正して作成する。図 5(1)~(3)に計算結果例を示した。オリジナル波形は 2688~3500 個の数値データであるが、高速 FFT を適用するため上記の数値データに 0 を加え、4096(2<sup>12</sup>)として計算を行っている。図 5(1), (2)の観測波は 80 秒(4096×0.02s)までプロットしている。

計算結果の検定には、応答スペクトルの適合条件として、「最小スペクトル比」、「変動係数」および「平均値の誤差」が用いられる。告示波ではオリ

ジナル波形の最大振幅よりも小さくなっている。オリジナル波形の最大振幅は高周波領域であることが想定される。

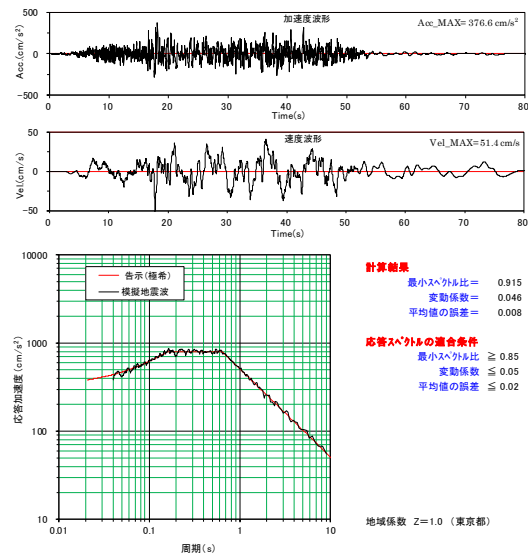


図 5(1) 告示波作成例(観測位相は八戸 NS を利用)

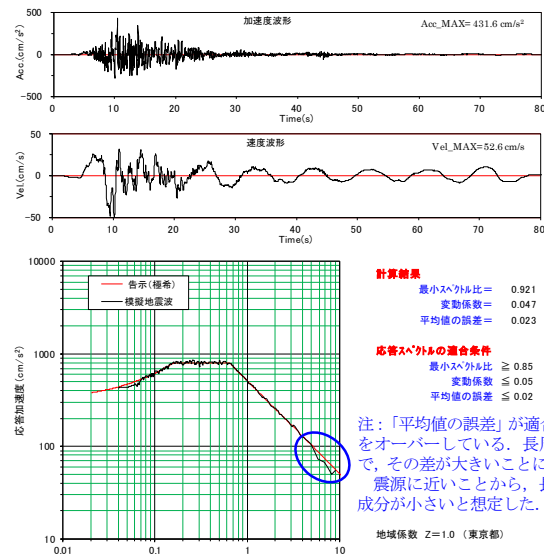


図 5(2) 告示波作成例(観測位相は神戸 EW を利用)

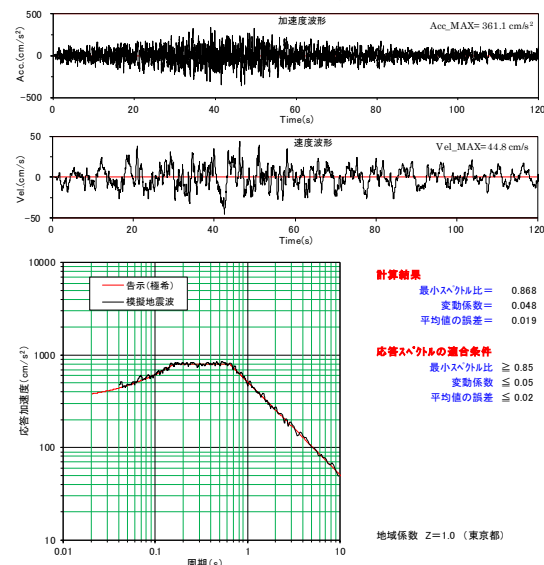


図 5(3) 告示波作成例(ランダム位相を利用)

採用した告示波は、概ね応答スペクトルの適合条件を満足している。

### 3.2 サイト波の作成

サイト波作成の流れを図6に示す。

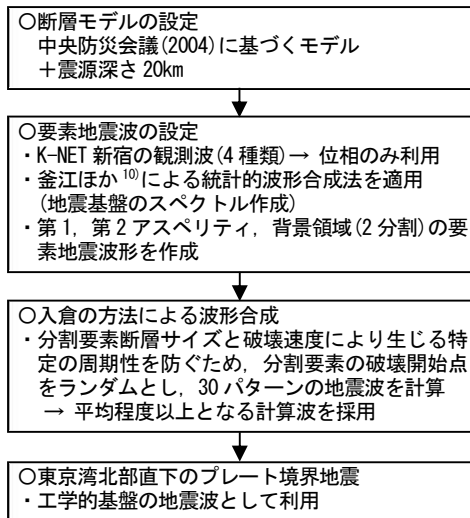


図6 サイト波作成の流れ

サイト波の作成については、作業当時は文献 3), 4), 5)などを参考にしていた。その後、整理された資料として「港湾の施設の技術上の基準・同解説、上巻」(2018) 7)が出版されている。以下では、この資料に沿って手順を紹介する。図7に概念図を示す。

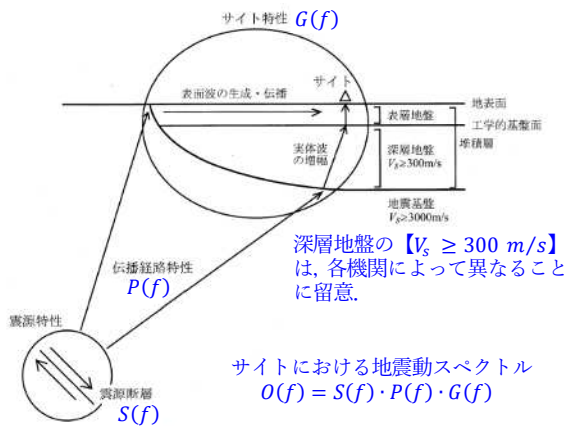


図7 震源特性・伝播経路特性・サイト特性 7)  
(青字は元図に筆者追加)

#### (1) サイト波の選択と断層モデルの設定

サイト波の選択に関しては、「首都直下地震等による東京の被害想定」8)(平成24年4月公表)により、調査地点周辺(世田谷区内)の震度を考慮して、「東京湾北部地震」(付図1参照)を選択した。

断層モデルは、中央防災会議による断層モデル 9)を参考として、選択した地震(東京湾北部地震)の断層モデルと震源パラメータを設定した。図8に断層モデルと調査地点、K-NET 新宿(TKY007)で観測された小地震の震源位置、アスペリティ(Asp1, Asp2)と背景領域(Bak1, Bak2)を示した。図9には、断層区分と要素地震の分担区域を示した。

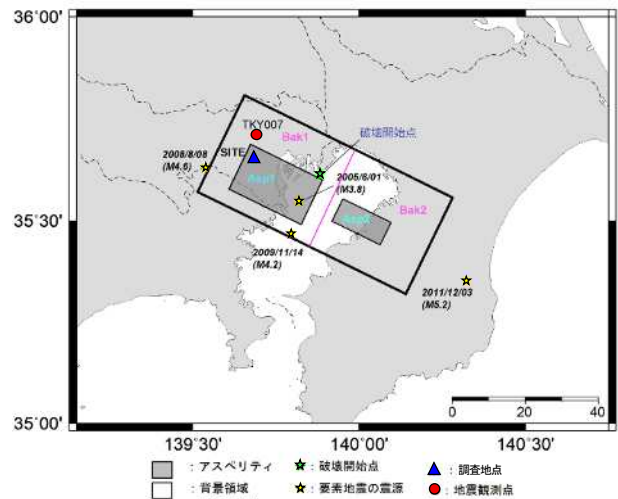


図8 東京湾北部地震の断層モデルとサイト

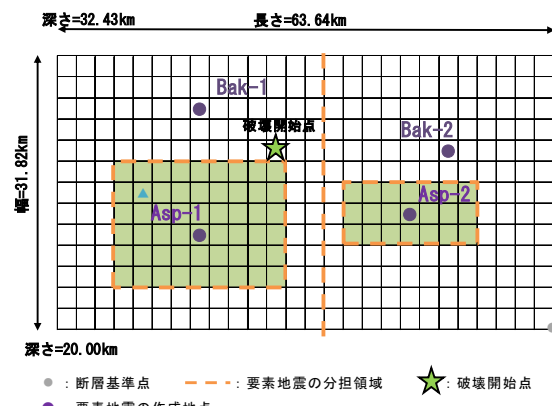


図9 断層区分と要素地震の分担区域

表2に東京湾北部地震の震源パラメータを示した。  
表2 東京湾北部地震の震源パラメータ

パラメータ項目	単位	東京湾北部地震の震源パラメータ			
巨視的震源特性	断層基準点北	deg	35.32		
	断層基準点東	deg	140.14		
	上端深さ	Km	20.0		
	走向	deg	296		
	傾斜角	deg	23		
	すべり角	deg	138		
	断層長さ	km	63.64		
	断層幅	km	31.82		
	断層面積	km <sup>2</sup>	2025		
	平均すべり量	m	1.62		
	地震モーメント	N·m	1.12E+20		
	剛性率	N/m <sup>2</sup>	3.43E+10		
	平均密度	g/cm <sup>3</sup>	2.8		
	S波速度	km/s	3.5		
	破壊伝播速度	km/s	2.5		
区分領域震源特性	区分領域名	Asp1	Asp2	Bak1&2	
	地震モーメント	N·m	4.01E+19	9.72E+18	6.22E+19
	総面積	Km <sup>2</sup>	324	126	1576
	平均すべり量	m	3.61	2.25	1.19
	応力降下量	MPa	16.7	16.7	2.4
	立ち上がり時	s	2.94	1.47	6.36

#### (2) 修正経験的グリーン関数法 7)

修正経験的グリーン関数法の適用に際して、K-

NET 新宿で得られた地表観測波の位相特性のみを利用する. K-NET 新宿は, 対象サイトより地震基盤が深いことから, K-NET 新宿で得られるサイト波はやや安全側の地震波動となっている. 要素地震として位相特性を利用した中小地震を表 3 に示す. また, 加速度波形と応答スペクトルを図 10 に示した.

表 3 中小地震の震源パラメータ

地震番号	発生日月時刻	震源地	震央位置		深さ (km)	Mj	位相特性を使用した領域
			北緯	東経			
EQ1	2005/6/1 19:40	東京湾	35.550	139.815	28	3.8	Bak1
EQ2	2008/8/8 12:57	東京都多摩東部	35.630	139.537	30	4.6	Asp1
EQ3	2009/11/14 4:23	東京湾	35.468	139.795	39	4.1	Bak2
EQ4	2011/12/3 5:55	千葉県南部	35.352	140.322	22	5.2	Asp2

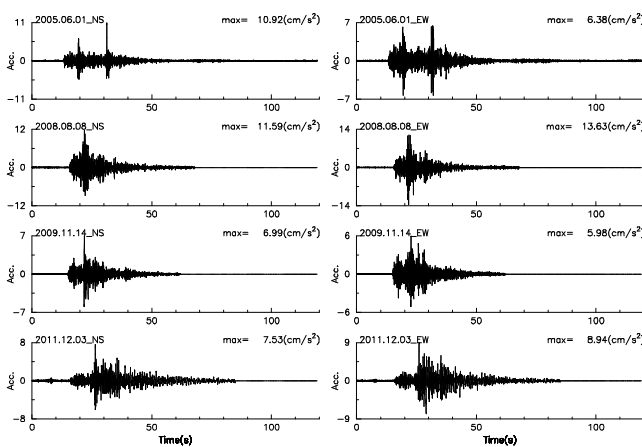


図 10(1) K-NET 新宿(中小地震: 加速度波形)

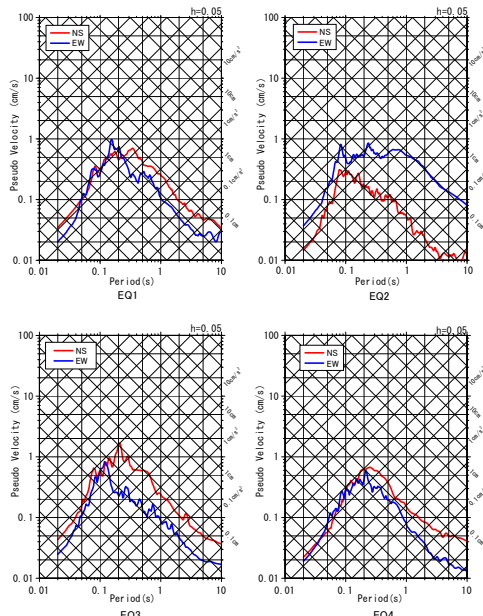


図 10(2) K-NET 新宿(中小地震: 応答スペクトル)

想定地震のアスペリティ等に着目し(large event), これを $N \times N$ に分割, 分割後の各小断層と同じ面積の小地震(small event)を考える. 小地震の震源特性, 伝播経路特性およびサイト増幅特性の積として, 地

表における小地震波形(グリーン関数)のフーリエ変換を実施する. 図 11 にグリーン関数の重ね合わせのイメージを示した.

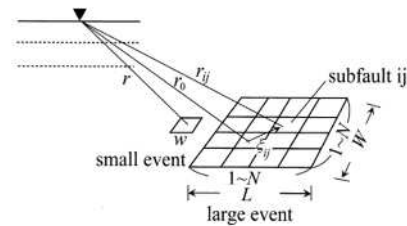


図 11 グリーン関数の重ね合わせ

以下は, Boor<sup>3),10)</sup>による震源特性と, 伝播経路特性の定式化である.

$$S(f) = \frac{R_{\theta\phi} \cdot FS \cdot PRITIN}{4\pi\rho V_s^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{1+(f/f_{max})^n} \quad [E-1]$$

$$P(f) = \frac{e^{-\pi f r / QV_s}}{r} \quad [E-2]$$

ここで, 計算に際して設定した係数は以下の通り.

- $R_{\theta\phi}$  : ラディエーションパターン係数, 平均値 0.63 で設定
- $FS$  : 自由表面による振幅, 2.0 で設定
- $PRITIN$  : 水平 2 成分へのエネルギー分割, 0.71 で設定
- $\rho$  : 密度 ( $g/cm^3$ ), 2.8 ( $g/cm^3$ ) で設定
- $V_s$  : S 波速度 ( $km/s$ ), 3.8 ( $km/s$ ) で設定
- $n$  :  $n = 1$  (釜江ほか(1991)<sup>10)</sup>による)
- $r$  : 要素地震の震央とサイトの震源距離 ( $km$ )
- $\sigma$  : 応力降下量 ( $MPa$ )
- $f_c$  : コーナ周波数 ( $Hz$ ),  $f_c = 4.9 \cdot 10^6 \cdot V_s \cdot (\sigma/M_0)^{1/3}$
- $f_{max}$  : 高周波遮断周波数 ( $Hz$ ),  $f_{max} = 6 Hz$  で設定
- $S$  : Asperityの有効面積 ( $km^2$ ),  $S = (0.66 \cdot V_s/f_c)^2$
- $M_0$  : 要素地震の地震モーメント ( $N \cdot m$ )
- $Q$  : 伝播経路での減衰,  $Q = 100 \cdot f^{0.70}$  で設定

地表での小地震のフーリエ振幅と対象地点, またはその周辺での中小の実地震の位相特性を組合せ, フーリエ逆変換することで, 地表におけるグリーン関数を求められる. 以下に手順を示す.

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot G(f) \cdot \frac{O(f)}{|O(f)|_p} \quad [E-3]$$

ここに, 記号は以下の通り.

- $A(f)$  : 地表におけるグリーン関数のスペクトル
- $S(f)$  : 震源特性
- $P(f)$  : 伝播経路特性
- $G(f)$  : サイト増幅特性(地震基盤~地表)
- $O(f)$  : 対象地点で得られた中小地震のスペクトル
- $|O(f)|_p$  :  $O(f)$ の絶対値をとり, Parzen ウィンドウ処理したもの

修正経験的グリーン関数法を利用する場合, 取得された中小地震記録の位相特性(群遅延時間)には S 波と表面波の寄与が一体となっており, 得られたサイト地盤特性には, 両方の寄与が含まれている.

調査地点に近い位置にある TKY007(K-NET 新宿)のサイト増幅特性<sup>11)</sup>は, K-NET の強震観測点として求められており, PS 検層結果のデータも含まれている(付図 2 参照).

図 12 のサイト増幅特性は, 地表/地震基盤(黒)と工学/地震基盤(赤)の増幅特性で, PS 検層結果を利用して, 工学基盤に引き戻している.

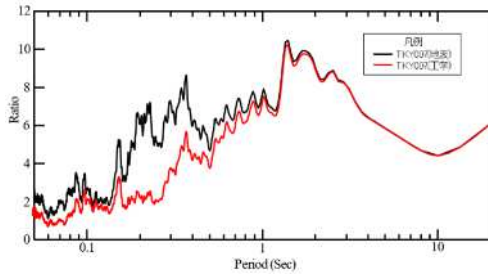


図 12 サイト増幅特性(K-NET 新宿)

アスペリティ・小断層などからの地震動は、地表におけるグリーン関数を重ね合わせることにより求められる(入倉の式 5),6)。以下にその手順を示す。

$$U(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{r_s}{r_{ij}} f(t) * [C \cdot u(t - t_{ij})] \quad [E-4]$$

$$f(t) = \delta(t) + \frac{1}{n'(1-e^{-1})} \sum_{k=1}^{(N-1)n'} e^{\frac{(k-1)}{(N-1)n'}} \delta \left[ t - \frac{(k-1)\tau}{(N-1)n'} \right]$$

$$t_{ij} = \frac{r_{ij} - r_0}{V_s} + \frac{\xi_{ij}}{V_r}$$

$$M_0/M_{0e} = CN^3, \quad S_0/S_{0e} = N^3 \quad [E-5],[E-6]$$

ここに、記号は以下の通り。

$U(t)$  : 大地震動

$u(t)$  : 小地震動

$f(t)$  : 大地震と小地震動の滑り速度時間関数の違いを補正するための関数

$r_s, r_{ij}$  : 小地震、断層面上の  $ij$  から観測点までの距離

$N$  : 断層分割のためのスケールパラメータ

$\tau$  : 大地震の立ち上がり時間

$n'$  : 見かけの周期性を除去するための整数

$r_0$  : 観測点から断層面上の破壊開始点までの距離

$\xi_{ij}$  : 破壊開始点から  $ij$  要素までの距離

$V_s, V_r$  : 地震基盤の  $S$  波速度、破壊伝播速度

$\delta(t)$  : デルタ関数

$M_0, M_{0e}$  : 大地震および小地震の地震モーメント

$C$  : 大地震と小地震の応力降下量比 ( $\Delta\sigma/\Delta\sigma_e$ )

$S_0, S_{0e}$  : 大地震および小地震の面積

図 13 に上記手法の模式図 12)を示した。

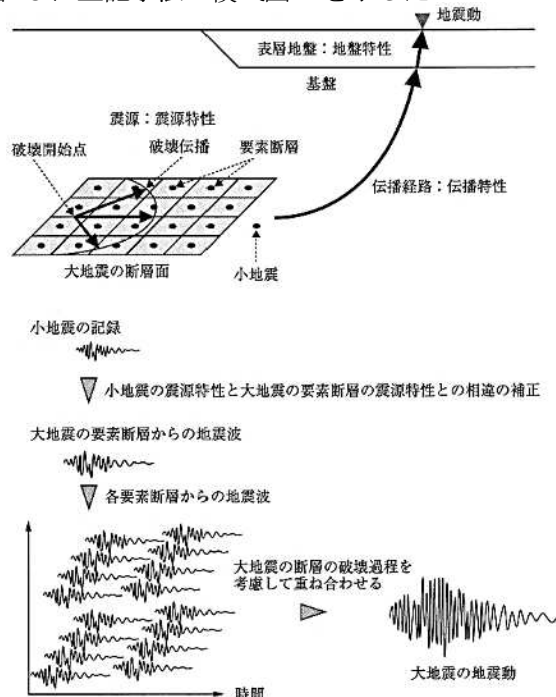


図 13 小地震から大地震を作成する手法の模式図 12)

本手法では、想定地震の断層面を複数の要素断層に分割し、各要素断層から放出される要素地震波を合成させることによって、大地震の地震波形を作成している。

(3) 工学的基盤の要素地震波作成

要素地震の作成に際しては、中小地震の位相特性を考慮している。表 4 に要素地震の震源パラメータを示す。要素地震の震央は図 9 に示してある。

表 4 要素地震の震源パラメータ

Asp/Bak 領域番号	要素地震の 震央	北緯 (°)	東経 (°)	深さ (km)	Mj	地震モーメント M <sub>j</sub> (N·m)	応力 降下量 σ (Mpa)
Asp-1	Asp-1 の ほぼ中心	35.581	139.734	24.3	5.2	1.06E+24	16.7
Asp-2	Asp-2 の ほぼ中心	35.492	140.018	25.3	5.2	9.25E+23	16.7
Bak-1	Bas-1 の中 心より北	35.691	139.808	30.6	4.8	2.64E+23	2.4
Bak-2	Bas-2 の中 心より北	35.528	140.100	28.1	4.8	2.37E+23	2.4

修正経験的グリーン関数法 7)の適用により、作成された応答スペクトルを図 14 に示す。ここでは小断層サイズと破壊速度によって生じる周期性を防ぐため破壊開始位置をランダムに変えてある。なお、破壊開始点がランダムであることから、ラディエーションパターンは考慮していない。30 パターンの応答スペクトルを作成し、平均値以上となる応答スペクトルを採用した。図 15 に工学的基盤面における時刻歴波形(地震波形)と応答スペクトルを示す。

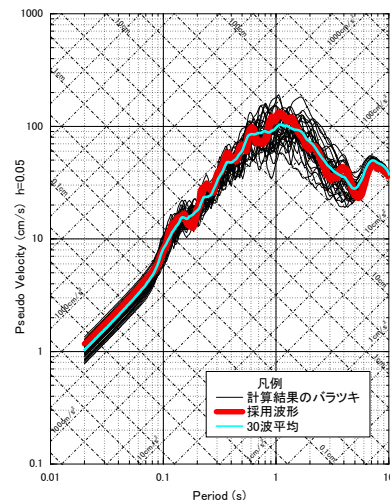


図 14 応答スペクトル(開放工学的基盤)

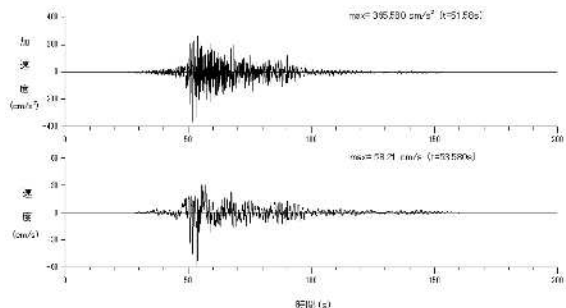


図 15(1) 工学的基盤面における時刻歴波形

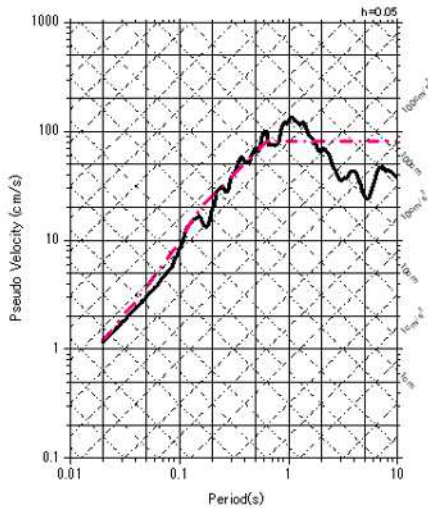


図 15(2) 時刻歴波形の応答スペクトル

4. 地盤の応答解析

告示波およびサイト波は、工学的基盤面で定義された地震波である。工学的基盤面から、建物基礎底および地表までの地盤特性を考慮した応答解析を実施した。図 16 に地盤の応答解析の流れを示した。

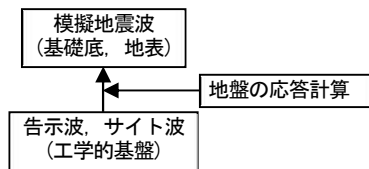


図 16 地盤の応答解析の流れ

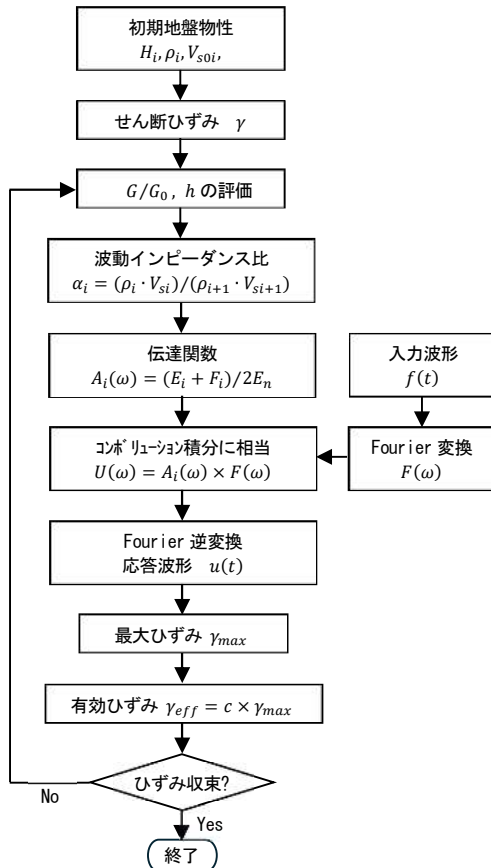


図 17 SHAKE の流れ<sup>14)</sup>

地盤の応答解析では、地盤のひずみレベルにより、用いられる計算法が異なる。ひずみレベルが  $10^{-5}$  ( $10^{-3}\%$ ) 以下の場合には線形モデル(重複反射理論など)が、 $10^{-2}$  ( $10^{-0}\%$ ) 以下の場合には等価線形モデル(SHAKE など)が、 $10^{-0}$  ( $10^{+2}\%$ ) 以下の場合には非線形モデル(逐次積分法など)が、各々用いられる<sup>13)</sup>。

調査地点は、概ね洪積地盤で構成されていることから、地震動によるひずみレベルが大きくないこと(1%以下)を想定して、等価線形モデル(SHAKE)による解析を実施した。図 17 に SHAKE の流れ<sup>14)</sup>を示す。

4.1 地盤の応答計算に用いる地盤定数

地盤の応答計算に用いる地盤定数は、調査ボーリングで採取した不攪乱試料を用いた「変形特性を求めるための繰返し三軸試験」により得られる  $[\gamma - G$  曲線]と  $[\gamma - h$  曲線]で、 $[\gamma - G$  曲線]は各層の剛性率( $G_0$ )で基準化した。曲線タイプを図 18 に示す。地盤の応答計算に用いた地盤定数を表 5 に示した。

表 5 応答計算に用いた地盤定数

No.	深度 (m)	層厚 (m)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	S 波速度 Vs (m/s)	P 波速度 Vp (m/s)	曲線タイプ	備考
1	0.00~2.60	2.60	1.30	190	520	3-1	
2	2.60~3.60	1.00	1.40	190	520	3-2	
3	3.60~4.90	1.30	1.65	210	750	3-5	
4	4.90~7.45	2.55	1.85	210	750	3-6	基礎底深度 6.4m
5	7.45~9.65	2.20	1.85	260	1200	3-7	
6	9.65~11.55	1.90	1.95	260	1200	3-7	
7	11.55~14.85	3.30	2.05	430	2000	-	工学基盤

地盤の表層部は非線形特性を有する。せん断ひずみが大きくなるにつれてせん断剛性が低下し、履歴減衰率が増大する。試験結果のデータの整理に際しては、非線形モデルとして「Hardin-Drnevich」(HD)モデルを利用することが多い。図中の曲線は、HDモデルにより計算したものである。

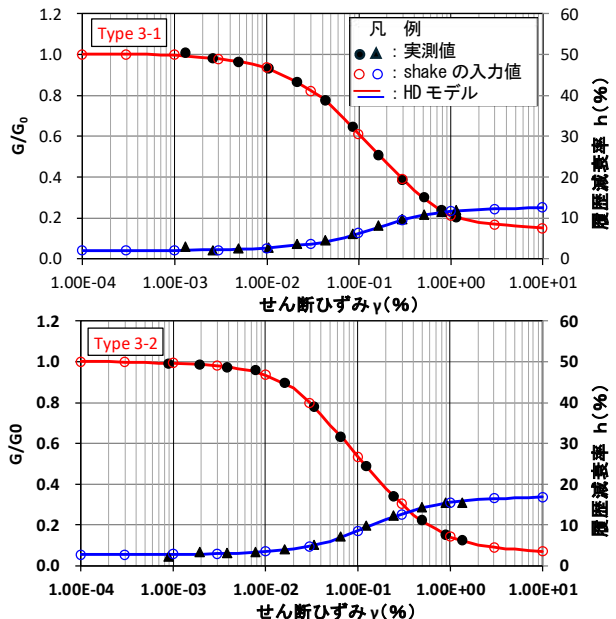


図 18(1)  $G/G_0 \sim \gamma, h \sim \gamma$  曲線

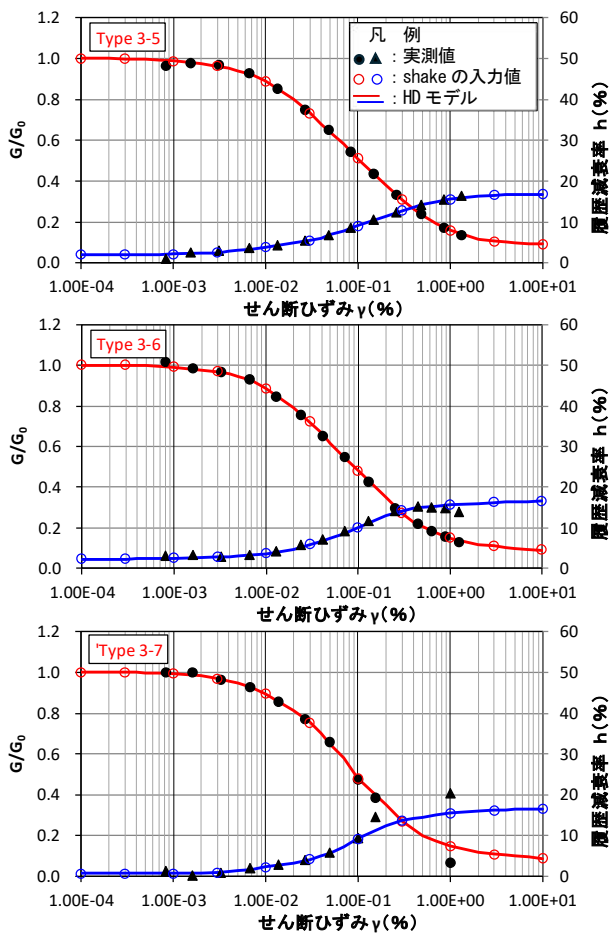


図 18(2)  $G/G_0 \sim \gamma, h \sim \gamma$  曲線

4.2 地盤の応答計算結果

模擬地震波の作成に際しては、告示波(八戸波・神戸波)の観測位相 NS・EW 成分と、ランダム位相を利用した。各位相波の地表・基礎底における最大振幅を表 6 にまとめた。また、サイト波は東京湾北部地震の最大振幅である。

表 6(1) 告示波の加速度・速度の最大値(水平動)

対象面	基盤位相波名	加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	速度 (cm/s)	備考
地表 (深度 0m)	八戸 NS	496.7	59.5	観測波位相
	八戸 EW	460.8	51.0	観測波位相
	神戸 NS	561.3	62.4	観測波位相
	神戸 EW	556.2	57.8	観測波位相
	RT-30	546.5	60.0	ランダム位相
	RT-35	534.9	48.0	ランダム位相
基礎底 (深度 6.4m)	八戸 NS	386.4	55.0	観測波位相
	八戸 EW	358.3	46.9	観測波位相
	神戸 NS	397.6	59.4	観測波位相
	神戸 EW	370.9	52.3	観測波位相
	RT-30	407.6	56.5	ランダム位相
	RT-35	443.8	47.5	ランダム位相

表 6(2) サイト波の加速度・速度の最大値(水平動)

対象面	基盤位相波名	加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	速度 (cm/s)	備考
地表 (深度 0m)	東京湾北部地震	449.8	66.6	
基礎底 (深度 6.4m)	東京湾北部地震	310.5	60.4	

計算では、観測波位相(八戸 NS・EW, 神戸 NS・EW)およびランダム位相のものを利用しているが、図 19 には八戸 NS, 神戸 EW およびランダム位相

の地表・基礎底部分の模擬地震波を示した。速度波形は、加速度波形を積分したものである。また、サイト波を図 19(7), (8)に示した。

建築構造物(超高層・免震・制振建築物)への入力波形として用いられる模擬地震波は、地表面あるいは基礎底へ入力される地震動で、建物と地盤の一体解析において利用される。今回は、地表および基礎底(深度 6.4m)での入力波を作成した。基礎底の深度は、設計コンサルの指示によるものである。

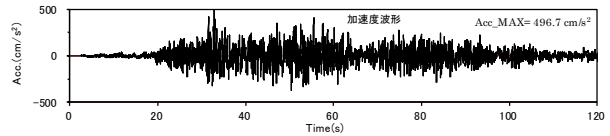


図 19(1) 模擬地震波(八戸 NS : 地表)

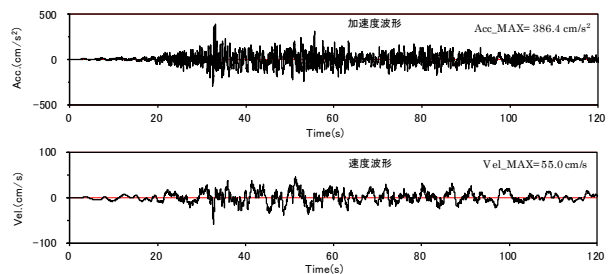


図 19(2) 模擬地震波(八戸 NS : 基礎底)

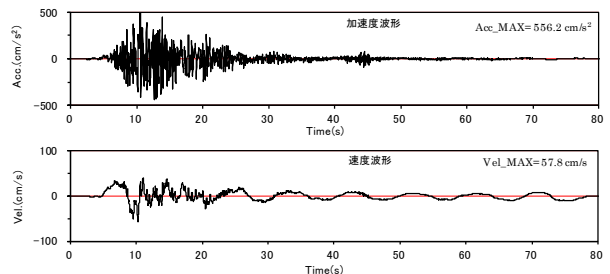


図 19(3) 模擬地震波(神戸 EW : 地表)

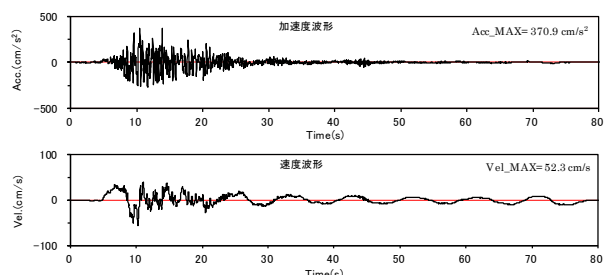


図 19(4) 模擬地震波(神戸 EW : 基礎底)

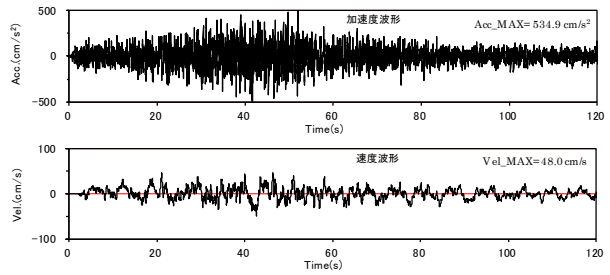


図 19(5) 模擬地震波(ランダム位相波 : 地表)

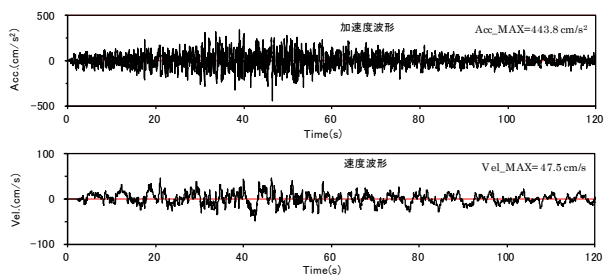


図 19(6) 模擬地震波(ランダム位相波:基礎底)

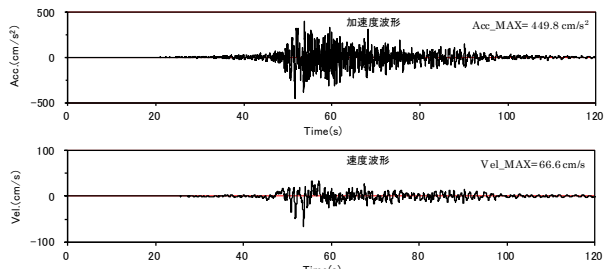


図 19(7) 模擬地震波(サイト波:地表)

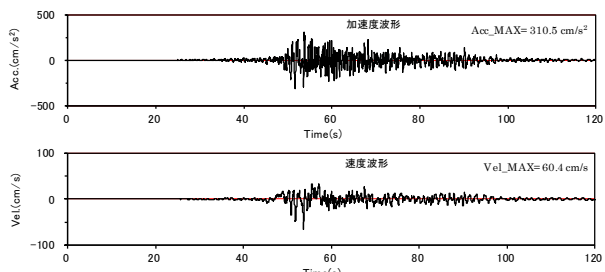


図 19(8) 模擬地震波(サイト波:基礎底)

図 20 には、波形図データから得られた疑似速度応答スペクトル(トリパタイト表記[三軸図])を示した。比較のため、同じ図に地表と基礎底の応答スペクトルをプロットした。

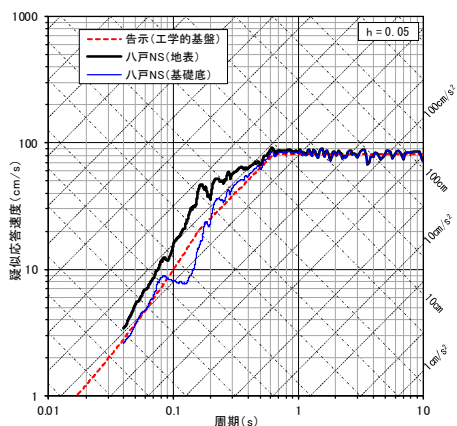


図 20(1) 疑似速度応答スペクトル(八戸 NS)

図 20(1)~(3)は、告示波による応答スペクトルで、減衰率は 5%である。周期 1s~10s では、告示のスペクトルに類似している。周期 0.04s~1s では、基礎底から地表までの地盤による増幅が確認される。

図 20(4)はサイト波の応答スペクトルで、地表と基礎底では周期 1s 付近にピークが見られる。周期 2~10s 付近では、告示波に比べて落ち込みが大きい。周期 0.04s~0.8s 付近で告示波と同様、地盤による増幅が確認できる。

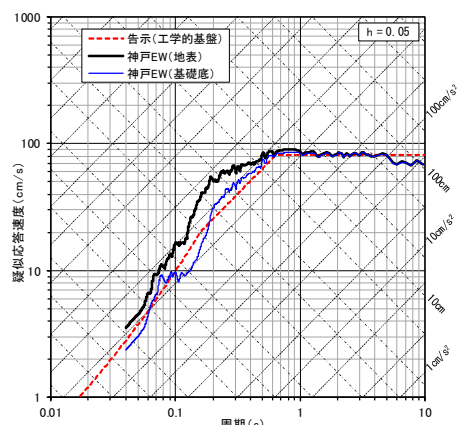


図 20(2) 疑似速度応答スペクトル(神戸 EW)

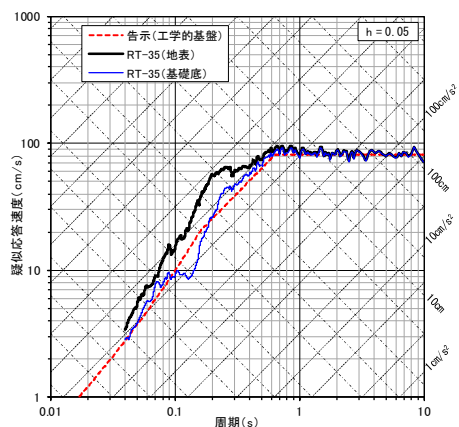


図 20(3) 疑似速度応答スペクトル(ランダム波位相)

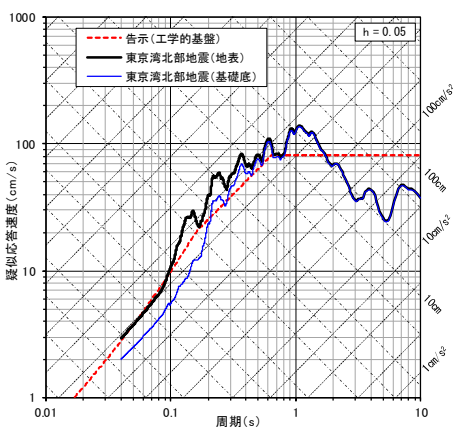


図 20(4) 疑似速度応答スペクトル(サイト波)

## 5. その他

### 5.1 基盤促波について

以下では、国土交通省「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」(平成 22 年 12 月)<sup>15)</sup>に基づく設計用長周期地震動の波形について記述する。長周期地震動は、高層ビルが大きく長時間揺れ続けたり、震源から離れた場所でも大きな揺れを観測することがあり、地震基盤が深い平野部で発生することが多い。

図 21 において黒丸は観測点で、調査地点のある世田谷区付近は、「区域 1」(ピンク色)に指定されていることから、表 7 の「区域 1」の長周期地震動加速度波形(area01\_acc)をダウンロードし、利用した。

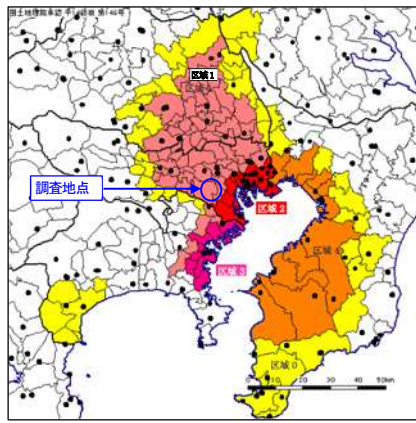


図 21 対象地域の区分(関東地方)<sup>15)</sup>

表 7 各区域の長周期地震動波形一覧(関東地方)<sup>15)</sup>

区域	ファイル名	参 考				区域を代表する地点	
		最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	最大速度* (cm/s)	参照地点			
				記号	緯度(度)	経度(度)	
1	area01_acc	58.8	15.6	KGIN	35.6939	139.6922	新宿区役所
2	area02_acc	52.1	20.8	E4E	35.6897	139.7550	千代田区役所
3	area03_acc	72.0	22.5	E56	35.4397	139.6533	横浜市役所
4	area04_acc	77.0	19.8	E62	35.6031	140.1050	千葉市役所

\* 最大速度は、遮断周波数0.1Hzのローカットフィルターを施したFFTによる積分から算出した。

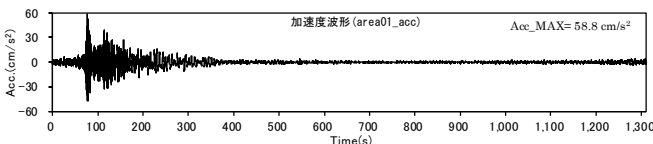


図 22 長周期地震動加速度波形(area01\_acc)<sup>15)</sup>

長周期地震動は、 $\Delta t = 0.02s$ , データ数 = 65536, 時間長 = 1310.70 秒の非常に長い加速度波形である。加速度波形のフーリエ・スペクトルで卓越周期を確認した。図 23 にフーリエ・スペクトルを示した。

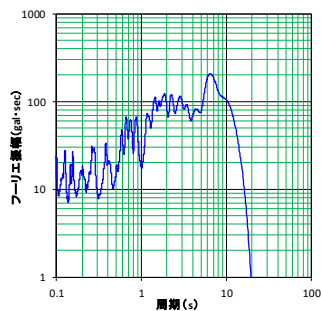


図 23 フーリエ・スペクトル

Band 幅=0.05Hz の Parzen-Window を適用。  
ピーク周期は、6~7s で長周期波形の特徴が確認できる。  
なお、長周期波形は 0.1~10s の周期成分を対象としている。

長周期地震動についても、調査地点での地盤の応答計算を実施した。図 24 に地表および基礎底での加速度・速度波形を示した。波形図から 100~400s 付近で長周期の波形が確認できる。

図 25 には、疑似速度応答スペクトルを示した。長周期地震動によるスペクトルは、告示のスペクトルより小さい。また、周期 5~8 秒付近がピークであることが判る。

都庁第 1 本庁舎(地上 48 階、軒高 241.87m)の固有周期は、長辺方向で 4.64 秒、短辺方向で 4.97 秒とされている。長周期地震動対策として、制振装置が設置されている<sup>16)</sup>。

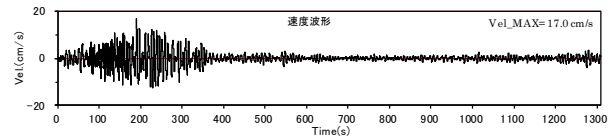
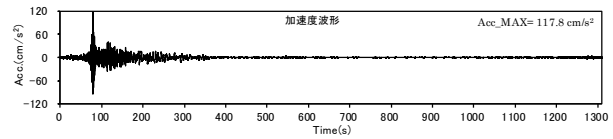


図 24(1) 模擬地震波(長周期地震動：地表)

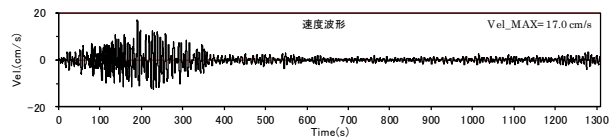
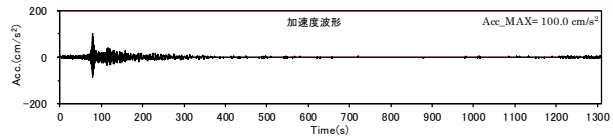


図 24(2) 模擬地震波(長周期地震動：基礎底)

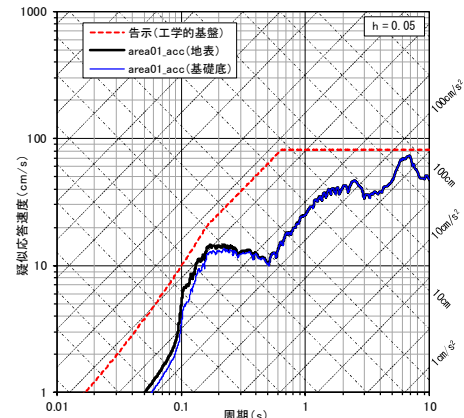


図 25 疑似速度応答スペクトル(長周期地震動)

### 5.2 計測震度

気象庁の計測震度の算出方法<sup>17)</sup>に沿って、「東京湾北部地震」の計測震度を求めた。気象庁の震度階級を表 8 に示す。

表 8 気象庁震度階級

震度階級	計測震度	震度階級	計測震度
0	0.5 未満	5 弱	4.5 以上 5.0 未満
1	0.5 以上 1.5 未満	5 強	5.0 以上 5.5 未満
2	1.5 以上 2.5 未満	6 弱	5.5 以上 6.0 未満
3	2.5 以上 3.5 未満	6 強	6.0 以上 6.5 未満
4	3.5 以上 4.5 未満	7	6.5 以上

計測震度を求めるためには 3 成分(NS,EW,UD)の合成記録が必要であるが、「東京湾北部地震」は水平動の合成成分であることにより、上下動(水平動の半分程度)を考慮していないが、そのまま利用した。

計測震度(I)は、以下の計算式により得られる。

$$I = 2 \cdot \log(a) + 0.94$$

図 27(2)の振幅(a)において、a 以上となる時間の合計が 0.3 秒となるような振幅を求める。また、計算された I の少数第 3 位を四捨五入し、少数第 2 位



を切り捨てたものを計測震度とするとされている。

仮に周波数 0.6Hz 付近で, NS 成分が 210gal, EW 成分が 210gal, UD 成分が 105gal とすると, 上下動を考慮した場合,

$$\sqrt{(210^2 + 210^2 + 105^2)} = 328.367 \text{ (gal)}$$

$$I = 2 \cdot \log(328.367) + 0.94 = 5.972 \approx 5.9$$

上下動を考慮しない場合,

$$\sqrt{(210^2 + 210^2)} = 296.984 \text{ (gal)}$$

$$I = 2 \cdot \log(296.984) + 0.94 = 5.885 \approx 5.8$$

となり, 上下動の影響が少ないことが判る。

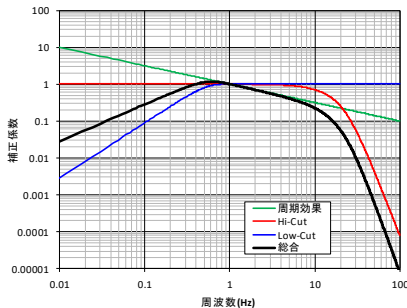


図 26 震度計算のためのフィルター特性<sup>17)</sup>

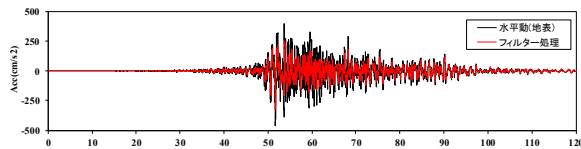


図 27(1) 東京湾北部地震(Original と Filtered 波形)

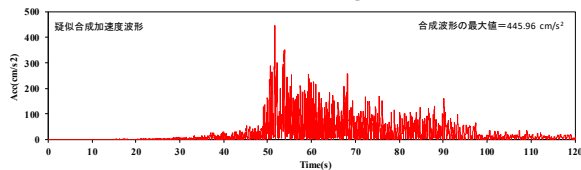


図 27(2) 東京湾北部地震(合成加速度波形)

上記では,  $a = 309.95 \text{ gal}$  となる。従って, 計測震度 ( $I = 5.9$ ) を得る。表 7 より「6弱」となる。



図 28 首都圏直下地震の震度分布<sup>8)</sup>

図 28 は「首都圏直下地震による東京の被害想定」<sup>8)</sup> から引用した東京湾北部地震による震度分布である。調査地点は「震度 6 弱～6 強」と想定されており, 計算した計測震度 6 前後とほぼ一致する。

### 5.3 波形データファイルについて

作成した模擬地震波は, 構造物の地震応答計算に供されることから, テキスト形式のファイルとして提出した。提出した波形データファイルの一覧を表 9 に示した。表 10 には, ファイルデータの内容の一

部を示した。

表 9 波形データファイルの一覧

ファイル名	内容	出力箇所 <sup>(1)</sup>	備考
①告示(水平動-地表)	告示波(極希)	地表	告示(極めて希に発生する地震動)
②告示(水平動-基礎底)	告示波(極希)	基礎底	
③告示(水平動-工学的基盤)	告示波(極希)	工学的基盤	
④サイト波(地表-基礎底-工学的基盤)	サイト波	地表・基礎底 工学的基盤	東京湾北部地震
⑤目標(上下動-地表)	上下動 目標 SP	地表	目標スペクトル <sup>(2)</sup>
⑥目標(上下動-基礎底)	上下動 目標 SP	基礎底	
⑦目標(上下動-工学的基盤)	上下動 目標 SP	工学的基盤	
⑧告示(八戸 234 秒-地表)	告示波(極希)	地表	告示(極希波) 八戸波 234 秒
⑨告示(八戸 234 秒-基礎底)	告示波(極希)	基礎底	
⑩告示(八戸 234 秒-工学的基盤)	告示波(極希)	工学的基盤	
⑪長周期地震(area01_acc)	長周期地震動	地表・基礎底 ・工学的基盤	長周期地震動 <sup>(3)</sup>
⑫希波(水平動-地表)	告示波(希波)	地表	告示(希に発生する地震動)
⑬希波(水平動-基礎底)	告示波(希波)	基礎底	
⑭希波(水平動-工学的基盤)	告示波(希波)	工学的基盤	

(1): 出力波形の成分は, 地表(2E), 基礎底(E+F), 工学的基盤(2E)。  
 (2): 上下動の目標スペクトルは, 文献 14) を参考にした。  
 (3): 国土交通省(平成 22 年 12 月), 「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」文献 15) による。

表 10 ①告示(水平動-地表)ファイルの例示

順序	波の種類	方向	点数	読み枚数	枚数	刻み	FORMAT
1	八戸SH-地表	HOR	12000	10	1500	0.01	(8F10.3)
2	八戸WE-地表	HOR	12000	1511	1500	0.01	(8F10.3)
3	神戸NE-地表	HOR	4000	3012	500	0.02	(8F10.3)
4	神戸EW-地表	HOR	4000	3513	500	0.02	(8F10.3)
5	RT-30-地表	HOR	6000	4314	750	0.02	(8F10.3)
6	RT-35-地表	HOR	6000	4765	750	0.02	(8F10.3)

NUMBER OF DATA	12000	FORMAT (8F10.3)	八戸SH-地表	HOR	T= 0.01
0.019	-0.090	-0.090	-0.137	-0.154	-0.116
0.074	0.089	0.106	0.115	0.120	0.145
0.230	0.218	0.211	0.218	0.202	0.435
0.507	0.305	0.247	0.381	0.556	0.635
0.314	0.334	0.608	0.863	0.659	0.821
0.380	0.633	0.308	1.163	1.375	1.466
1.218	1.118	1.157	1.254	1.262	1.211
0.942	0.836	0.790	0.553	0.537	0.840
1.223	0.873	0.839	0.722	1.079	1.458
1.080	0.679	0.400	0.349	0.499	0.668
0.205	0.143	0.088	0.103	0.178	0.234
0.157	-0.075	-0.195	-0.048	0.209	0.451
-1.089	-1.300	-1.175	-0.979	-0.859	-0.844
-1.374	-1.291	-0.966	-0.845	-0.582	-0.820
-1.827	-1.632	-1.363	-1.183	-1.270	-1.556

なお, 上下動の目標スペクトル<sup>14)</sup>は告示の水平動との比として図 29 のように与えられている。

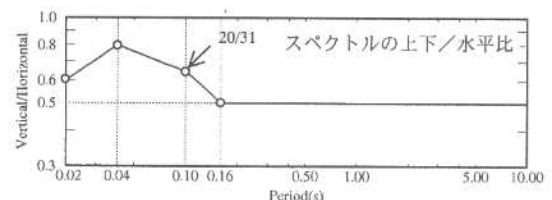


図 29 上下動の目標スペクトル<sup>14)</sup>

図 30 は入力位置と成分について示したものである。地盤モデルの入力を与える位置とその地点より上の地盤の影響を参入するか否かで設定する<sup>18)</sup>。

地表と開放工学基盤は, 開放基盤波 2E を考慮し, 基礎底は入射波に加えて上層からの反射波を考慮して E+F とする。基礎底への入力, 一般的に E+F

とすることが多い。

基礎底への入射波については、基礎底の深さと相互作用を考慮することが望ましいとされている。

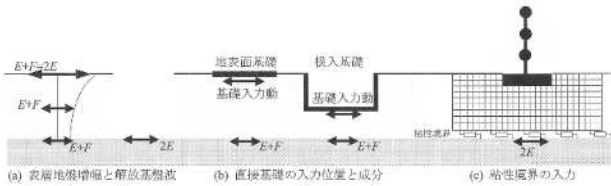


図 30 構造物モデルへの入力位置と入力成分<sup>18)</sup>

## 6. おわりに

サイト波の作成においては、業務実施時では「統計的グリーン関数法」のバリエーションの1つとされていたが、最近では「修正経験的グリーン関数法<sup>7)</sup>と命名されている。

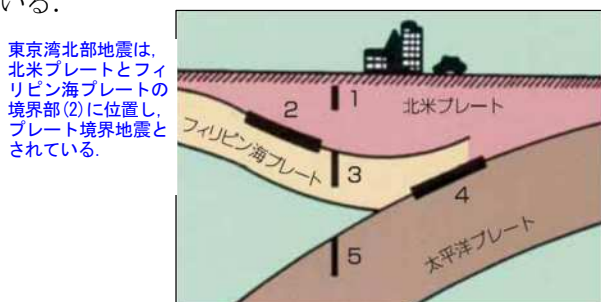
経験的グリーン関数法とは、想定大地震の時刻歴波形を予測する方法で、大地震の断層面を要素断層面に分割し、各要素断層からの地震波を中小地震記録から作成する。破壊伝播による時間遅れや観測点までの距離の違いによる時間遅れを考慮している([E-4]式参照：入倉の方法<sup>5),6)</sup>と呼ばれている。

一方、統計的グリーン関数法は、経験的グリーン関数法との違いは、中小の地震波形を人工的に作成する点にある。想定したい場所で、地震記録がない場合に適応される。多くの観測点における観測記録から統計的に得られているスペクトル特性や経時特性(地震動の包絡形状など)を用いる。実波形を計算する場合はランダム位相を適用している。

修正経験的グリーン関数法は、統計的グリーン関数法ではランダム位相特性を利用していたが、中小地震波から得られる位相特性(群遅延時間特性：波形の時間的な変動特性と直接関係している<sup>4),5),19)</sup>を利用している。

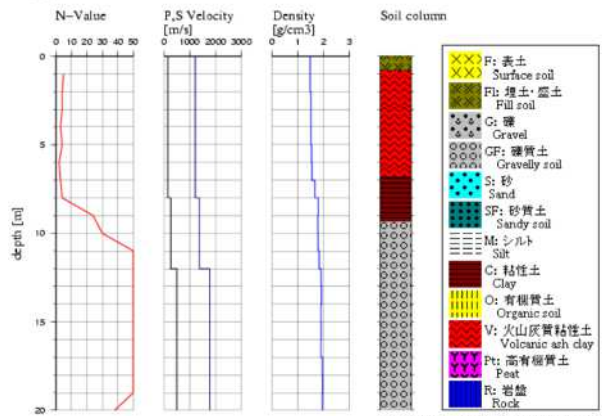
10年以上前の業務であるが、表1で設計用地震動の最近の動向について確認してみたが、大きくは変わっていない(2023年の資料)。作成方法の名称は、文献7(2018年)で確認したが、業務を実施していた当時とは変わっている。

今後、同種の業務を実施する前に法規制・告示や、作成手法について確認しておくことが重要となるかもしれない。機会があれば確認してみたいと考えている。



付図1 首都圏直下のプレート配置<sup>8)</sup>

## 土質図



付図2 K-NET新宿の柱状図とPS検層結果図<sup>20)</sup>

## 参考文献

- 1) 中野富夫(2023)：設計用入力地震動の現状と課題,機関紙「GBRC」,Vol.48,No.1,pp.53-60.
- 2) 日本建築学会(2019):建築基礎構造設計指針, p.100.
- 3) Boor, D.M.(1983): Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bull. Seism. Soc. Am., 73, pp.1865-1894.
- 4) 野津厚,菅野高弘(2008):経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法—因果性と多重非線形性効果に着目した改良—,港湾技術研究所資料, No.1173, pp.1-28.
- 5) 釜江克宏,入倉孝次郎,福知保長(1990):地域的な震源スケーリング則に基づいた大地震(M7級)のための設計用強震動予測,日本建築学会構造系論文報告集,第416号, pp.57-70.
- 6) Irikura, K.(1986): Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, Proc. 7th Japan Earthq. Symp., pp.151-156.
- 7) 日本港湾協会(2018):港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻), pp.364-395.
- 8) 東京都ホームページ(2012):平成24年度首都直下地震等による東京の被害想定(平成24年4月18日公表).平成26年4月閲覧. <https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000902/1000401.html>
- 9) 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」地震ワーキンググループ：地震ワーキンググループ報告書(第12回),平成16年11月.
- 10) 釜江克宏,入倉孝次郎,福知保長(1991):地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測,日本建築学会構造系論文報告集,第430号, pp.1-9.
- 11) 野津厚,長尾毅(2005):スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等の強震観測点のけるサイト増幅特性,港湾技術研究所資料, No.1112, pp.1-56.
- 12) 山中浩明編著(2006):地震の揺れを科学する—みえてきた強震動の姿—,東京大学出版会, p.151.
- 13) 日本建築学会(2009):最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法, p.77.
- 14) 日本建築学会(2006):建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計, pp.62-73.
- 15) 国土交通省「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」(平成22年12月22日) [https://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000218.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000218.html)
- 16) 東京都財務局「都庁第一本庁舎・第二本庁舎における長周期地震動対策への取組」(平成23年5月) <https://www.zaimu.metro.tokyo.lg.jp/documents/d/zaimu/2015k201>
- 17) 気象庁「計測震度の算出方法」 [https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/jishin/kyoshin/kaisetsu/cale\\_sindo.html#filter\\_wave](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/jishin/kyoshin/kaisetsu/cale_sindo.html#filter_wave)
- 18) 日本建築学会(2009):最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法, p.102.
- 19) 古和田明,田居優,岩崎好規,入倉孝次郎(1998):経験的サイト増幅・位相特性を用いた水平動および上下動の強震動評価,日本建築学会構造系論文報告集,第514号, pp.97-104.
- 20) 防災科学技術研究所ホームページ:観測点一覧より抜粋(TKY007新宿), <https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/db/index.html?all>

## 編集後記

今年は「2025年日本国際博覧会」、略称「大阪・関西万博」が開催されました。公式キャラクターのミャクミャクが人気を集め、グッズの売れ行きも好調。閉幕後には「アフター万博」が開催されるほどの盛り上がりでした。当社も万博開催に向けたインフラ整備に微力ながら関わることができ、ありがたく存じます。

本 22 輯は、関西大学社会安全学部の林先生に「地質工学の理念からみた南海トラフ地震臨時情報の現状と課題」、日本大学文理学部地球科学科の村瀬先生に「精密水準測量によって検出された御嶽山東山麓の上下変動（2016－2025年）」、名古屋大学減災連携研究センターの武村先生に「1944年東南海地震での軍需工場における被害の背景」についてご寄稿いただきました。心より感謝申し上げます。

ぜひご一読いただき、皆様の防災・減災への取り組みにお役立ていただければ幸いです。

企画本部 篠田 里子

地質工学 第 22 輯

令和 7 年 12 月 26 日発行

編集 日本物理探鑛株式会社 企画本部

印刷所 前田印刷株式会社





にほんぶつりたんこう

# NGP 日本物理探鑛株式会社

本 社 〒143-0027 東京都大田区中馬込二丁目 2 番 12 号  
TEL 03(3774)3211 FAX 03(3774)3180  
URL : <http://www.n-buturi.co.jp>  
E-mail : [gijutsu@n-buturi.co.jp](mailto:gijutsu@n-buturi.co.jp)



東 関 東 支 店	〒310-0804 茨城県水戸市白梅 3-10-5 コーラルトップ 108	TEL 029(231)7315 FAX 029(231)7316 E-mail : <a href="mailto:mito@n-buturi.co.jp">mito@n-buturi.co.jp</a>
関 東 支 店	〒143-0027 東京都大田区中馬込 2-2-12	TEL 03(3774)3161 FAX 03(3774)9353 E-mail : <a href="mailto:kanto@n-buturi.co.jp">kanto@n-buturi.co.jp</a>
札幌営業所	〒060-0061 北海道札幌市中央区南一条西 16-1-323 春野ビル 3F	TEL 011(558)3121 FAX 011(558)0900 E-mail : <a href="mailto:sapporo@n-buturi.co.jp">sapporo@n-buturi.co.jp</a>
東北営業所	〒980-0021 宮城県仙台市青葉区中央 4-8-15	TEL 022(393)4155 FAX 022(393)4156 E-mail : <a href="mailto:tohoku@n-buturi.co.jp">tohoku@n-buturi.co.jp</a>
埼玉営業所	〒336-0021 埼玉県さいたま市南区別所 5-15-2	TEL 048(700)3184 FAX 048(700)3100
千葉営業所	〒273-0011 千葉県船橋市湊町 2-12-24 湊町日本橋ビル 6F	TEL 050(6861)3024 FAX 050(6865)6843
横浜営業所	〒246-0022 神奈川県横浜市瀬谷区三ツ境 14-5	TEL 045(520)4890 FAX 045(520)4891
北 陸 支 店	〒950-0983 新潟県新潟市中央区神道寺 3-11-19	TEL 025(241)2960 FAX 025(241)2959 E-mail : <a href="mailto:hokuriku@n-buturi.co.jp">hokuriku@n-buturi.co.jp</a>
中越営業所	〒940-2033 新潟県長岡市上除町 1128-3	TEL 0258(94)4420 FAX 0258(94)4421
中 部 支 店	〒465-0094 愛知県名古屋市中東区亀の井 2-134	TEL 052(753)9662 FAX 052(753)9664 E-mail : <a href="mailto:chubu@n-buturi.co.jp">chubu@n-buturi.co.jp</a>
三重営業所	〒511-0041 三重県桑名市外堀 22 番地 ITO ビル 102	TEL 0594(27)2720 FAX 0594(24)2732
関 西 支 店	〒543-0033 大阪市天王寺区堂ヶ芝 1-3-24 LN 堂ヶ芝ビル 2F	TEL 06(6777)3517 FAX 06(6773)5488 E-mail : <a href="mailto:kansai@n-buturi.co.jp">kansai@n-buturi.co.jp</a>
四国営業所	〒760-0012 香川県高松市瀬戸内町 19-25	TEL 087(863)6191 FAX 087(863)6192 E-mail : <a href="mailto:shikoku@n-buturi.co.jp">shikoku@n-buturi.co.jp</a>
中 国 支 店	〒731-0138 広島県広島市安佐南区祇園 3-48-13	TEL 082(850)0073 FAX 082(850)0080 E-mail : <a href="mailto:cyugoku@n-buturi.co.jp">cyugoku@n-buturi.co.jp</a>
山口営業所	〒751-0875 山口県下関市秋根本町 2-10-10 トワムール 2 1 409 号室	TEL 083(242)2980 FAX 083(242)2981
九 州 支 店	〒803-0814 福岡県北九州市小倉北区大手町 7-38 大手町ビル 3F	TEL 093(581)8281 FAX 093(581)8267 E-mail : <a href="mailto:kyushu@n-buturi.co.jp">kyushu@n-buturi.co.jp</a>
福岡営業所	〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南 3-13-17	TEL 092(474)3087 FAX 092(474)3107
沖縄事務所	〒904-2155 沖縄県沖縄市美原 4-7-1 春マンション 103	TEL 098(923)1915 FAX 098(923)1916

※NGP は、Nippon Geophysical Prospecting Co.,Ltd. の略称です 2025. 12