

東北地方太平洋沖地震の体験談と強震記録を用いた南海地震の揺れの体験談の解釈法の検証

齊藤 剛彦¹・三神 厚²・中野 晋³

¹正会員 徳島大学技術補佐員 環境防災研究センター (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

E-mail:tsaito@hyd.ce.tokushima-u.ac.jp

²正会員 徳島大学大学院准教授 ソシオテクノサイエンス研究部

(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

E-mail:amikami@ce.tokushima-u.ac.jp

³正会員 徳島大学大学院教授 ソシオテクノサイエンス研究部

(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

E-mail:nakano.susumu@tokushima-u.ac.jp

著者らはこれまで南海地震の揺れの体験談を多数集めて、震源特性の推定を行ってきた。その際、常に問題となるのが体験談の解釈の不確実性であった。本研究は、東北地方太平洋沖地震の揺れに関する体験談と強震観測記録を併せて用いることで、昭和南海地震の体験談の解釈の方法について検証を行うものである。例えば昭和南海地震では「揺れが水平動から上下動に変化した」という体験談が複数得られ、著者らは多重震源理論に基づき解釈を試みていたが、東北地方太平洋沖地震では同様の傾向の体験談が強震記録とともに得られ、体験談の解釈が可能になったので、解釈法を検証する。標準的な体感と揺れの関係を対比するにあたり、強震記録から振動レベルを算出した。その結果、複数の観測点で水平動から上下動への変化を一般的に感じるとされる強震記録が得られていることが明らかになった。

Key Words : Showa-Nankai Earthquake, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, actual account, vibration level

1. はじめに

地震動を予測するためには、震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性の把握が必要となる。これまで著者ら¹⁾は、体験談を用いて南海地震の震源特性の検証を行ってきた。これは、1946年の昭和南海地震の地震動記録がほとんど得られておらず、また、その後も南海地震の震源域を震源とする地震がほとんど発生していないため、震源の様子が十分に把握できないためである。

昭和南海地震の体験談の中には、興味深い揺れのパターンを示す体験談が複数にわたり含まれている。例えば、「揺れが水平動から上下動に変化した」というパターンの証言が徳島県南部や高知県の各地域で複数得られていたり、また高知県中西部では「さほど大きくない横揺れがかなり長い間続いた後、急に大きな横揺れに襲われた」という内容の体験談が多く得られている。著者らは、多重震源理論の考え方を適用し、これらの体験談の説明を試みた。しかしながら、体験談を解釈する上での不確実性がどうしても残り、結果の信頼性が必ずしも十分で

はないという問題が残っていた。

今回、東北地方で南海地震と同じ海溝型の超巨大地震である東北地方太平洋沖地震が発生した。強震観測網が整備されて以降、初めての巨大海溝型地震であり、体験談と強震記録がセットで得られている。そのため、南海地震の体験談の解釈が妥当なものであったかどうかを検証するには絶好の機会である。

本研究では、東北地方太平洋沖地震の実地震観測記録と揺れの体験談をセットで用い、南海地震の揺れの体験談の解釈法を検証するとともに、注意点をまとめる。また、個々の感想でなく、より標準的な体感がどうであったかを知り、実際の揺れとの関係を検証するため、感覚補正振動加速度レベル(振動レベル)²⁾を用いた検討も行った。

2. 昭和南海地震の揺れの体験談¹⁾

著者らは、これまでに南海地震の震源域を取り囲む、

表-1 体験談の分類

体験談の分類	凡例
主に上下動だった	上下動
主に水平動だった	水平動
ユサユサと船に乗ったような揺れだった	長い横揺れ
上下動から水平動に変化した	上下→水平
水平動から上下動に変化した	水平→上下
上下動、水平動の両方を感じた	上下と水平
揺れが段々激しくなった	段々激しく
揺れては止み揺れては止みを繰り返した	繰り返し
突然大きな揺れが来た(直下型のような)	直下型

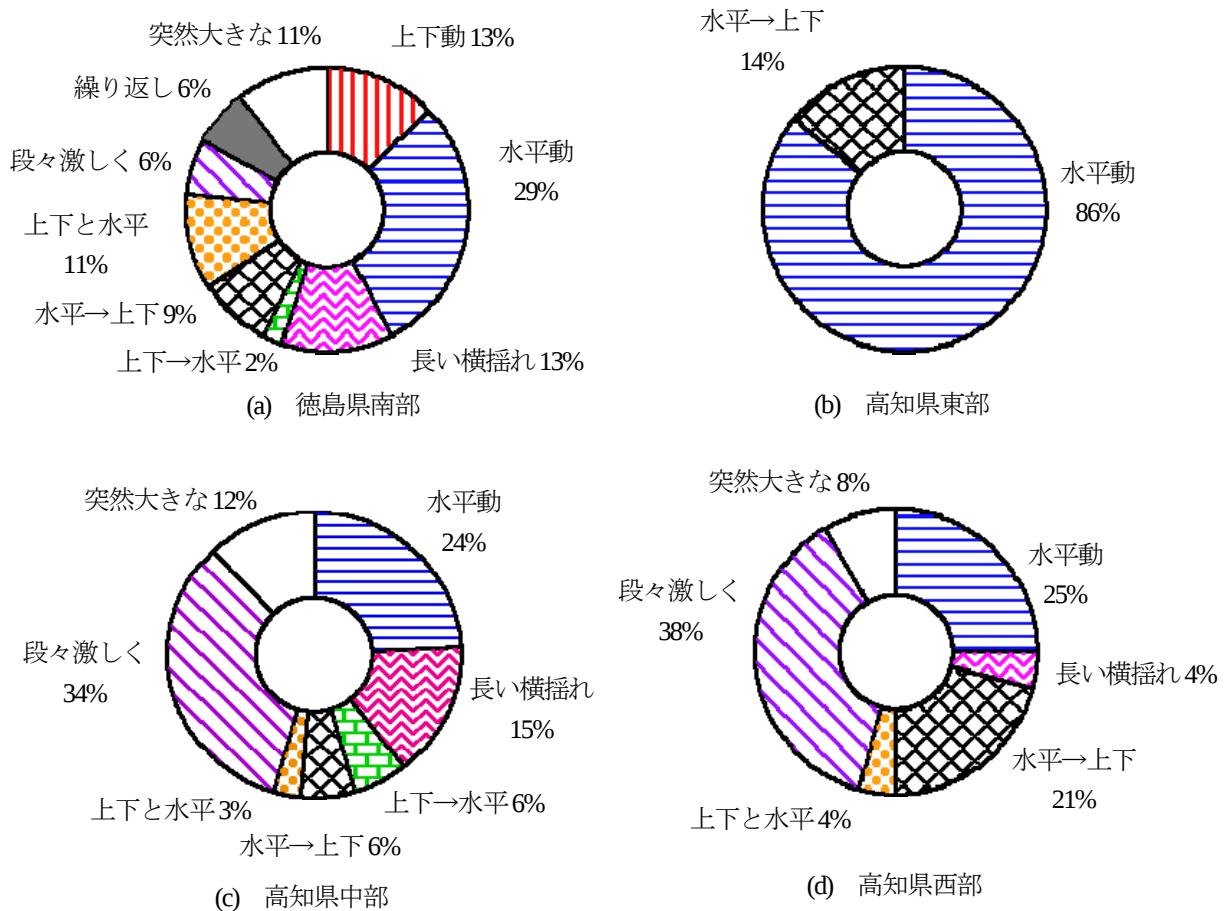


図-1 昭和南海地震の体験談の割合

和歌山，徳島，高知の3県において，昭和南海地震の揺れに関する体験談を文献資料や現地訪問に基づくヒアリングによって収集した．これらを表-1に示す9種類の揺れ方のタイプに分類し，地域ごとに体験談の特徴を検討している．

このうち，徳島県南部や高知県の各地域で得られた昭和南海地震の体験談の割合を図-1に示す．これらの地域では，「水平動から上下動に変化した」という体験談が複数得られている．これについて，昭和南海地震の既往の震源モデルを用いて，破壊開始点から断層の破壊が同

心円状に進み，複数の強震動生成域が時間差で破壊する，多重震源理論の考え方から検証した．しかしながら，昭和南海地震では体験談を検証することのできる実観測波形が得られていないこと，上下動については，検証の中で著者らが用いた統計的グリーン関数法³では作成できないことから，これ以上の検証を行うことができていなかった．

また，高知県中西部では「揺れが段々激しくなった」と証言する割合が高い．これについては，多重震源理論の考え方だけでなく，統計的グリーン関数法³を用いて

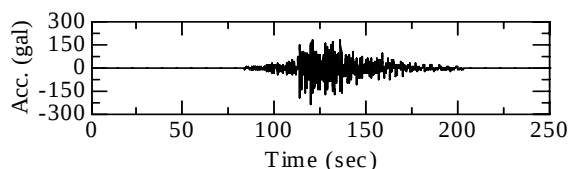


図-2 K-NET高知での地表面における加速度波形

加速度波形を作成し、その振幅の変化から検証した。図-2にK-NET高知⁴⁾を対象として作成した加速度波形を示す。比較的弱い揺れが長い時間続いた後に振幅が大きくなっており、高知県中部の「揺れが段々激しくなった」という典型的な体験談の傾向と整合している。

3. 東北地方太平洋沖地震の揺れの体験談と得られた時刻歴

(1) 体験談

東北地方太平洋沖地震の震源域を取り囲む地域において、東北地方太平洋沖地震の体験談を文献資料やインターネットによって収集した^{5~9)}。体験談は津波や、その後の避難生活に関するものが圧倒的に多いが、ここでは地震による揺れに関する体験談のみを抽出した。体験談が得られた地点は学校での体験談のように、場所を特定できるものはその場所とし、市町村名などの場合は役場などの場所とした。

(2) 特徴的な体験談の検証

ここでは、体験談のうち、体験者の位置が特定できた宮城県仙台市と茨城県つくば市の2件の例を挙げて、近くで得られた地震動波形と比較して検討する。

a) 宮城県仙台市青葉区「河北新報社」

表-2に、宮城県仙台市青葉区にある河北新報社で得られた体験談を、図-3に宮城県仙台市宮城野区五輪にある気象庁の観測点で得られた加速度波形¹⁰⁾をそれぞれ示す。体験談と観測点との距離は直線距離で約1.75kmである。

体験談には、ガタガタとした初期微動の揺れ、その後、主要動が到達した際に、下から突き上げるような激しい揺れを感じていることが記述されている。加速度波形を見ると、最初は上下動の振幅が大きく、その後水平動の振幅が急に大きくなっていることが分かる。そして、1度揺れが小さくなるが、その後、上下動が大きくなり、水平動が大きくなっている。

さらに、体験談には揺れが強弱を繰り返して長い時間続いていることが書かれている。波形を見ても、2度目の大きな山の後にも特に水平動の振幅が強弱を繰り返している。

表-2 宮城県仙台市青葉区「河北新報社」で得られた体験談

大地が悲鳴を上げたのはそのときだった。「地震震度3 三十秒後」。フロアの緊急地震速報受信装置の音声 flowed. 遠方の震源から発せられたP波をもとに、地震の揺れの到達を予測する。「三十、二十九、二十八、二十七……」音声がかウントダウンを始める。ガタガタガタガタガタ。来た。主要動をもたらすS波は秒読みがゼロになるまで待つてはくれなかった。午後二時四六分。激しい揺れが下から突き上げる。縦に横に斜めに揺さぶられる。これで震度3のわけがない。身の危険を感じて机の下に潜った。(中略)震動はおさまる気配をみせない。弱まりそうになると再び強まる。強弱を繰り返し、際限なく続くように感じた。別の同僚は机の下に隠れながら腕時計で震動時間を計っていた。約三分間だったというが、体感的にはもっと長かったと思った(宮城県仙台市)。⁵⁾

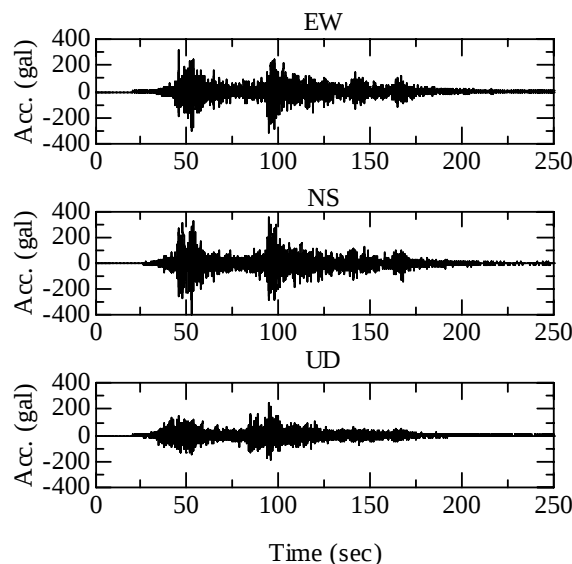


図-3 気象庁仙台宮城野区五輪での加速度波形

b) 茨城県つくば市「筑波大学」

表-3に、茨城県つくば市にある筑波大学で得られた体験談を、図-4に茨城県つくば市にあるK-NETつくばの観測点で得られた加速度波形⁴⁾をそれぞれ示す。体験談と観測点との距離は直線距離で約2kmである。

体験談には、弱い横揺れが長く続いた後、激しい縦揺れが来たと記述されている。波形を見ると、弱い振動が1分以上続いていることが分かる。ただし、振動が大きくなる時間帯では、水平動に比べて上下動が大きい波形ではない。しかし、図-2の高知県中部を対象とした波形と似ており、体験談も「揺れが段々激しくなった」ということを表現している。

表-3 茨城県つくば市天王台「筑波大学」で得られた体験談

最初はやけに長く続く弱い横揺れ。そのうちにただならない縦揺れ。理科系棟にいた学生たちは中央広場に避難し、かつて見たこともないほど校舎が揺れるのを見ました(茨城県つくば市)。⁹⁾

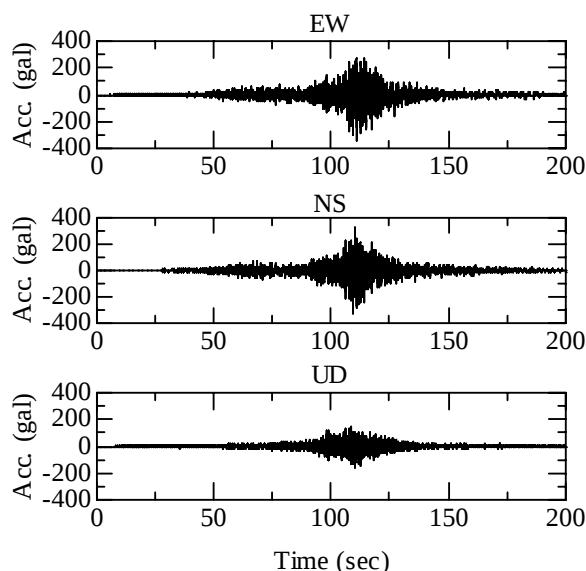


図-4 K-NETつくば(IBR011)での加速度波形

4. 振動レベルを用いた検証

(1) 振動レベルについて

振動の強さを表す指標として、環境振動工学の分野で使用されている振動レベル²⁾がある。振動レベルとは、人間が体に感じる振動の大きさ、つまり振動の感覚的の大きさを表したものであり、建設工事による振動や工場的大型機械による振動のように我々の生活環境にかかわる振動を扱う際に用いられているものである。

人体の振動感覚は、その振動の周波数や方向によって大きく変わる。そのため、振動レベルを求めるには、まず加速度波形から振動の物理的の大きさを表す振動加速度レベル L_a を周波数成分ごとに求める。

$$L_a = 20 \log \frac{A}{A_0} \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

ここで、 A は振動加速度実効値(m/s^2)で、加速度振幅を2乗して1周期で平均して平方根をとることで求められる。また、 A_0 は基準値で $A_0 = 10^{-5} (\text{m/s}^2)$ が用いられている。

周波数成分ごとの振動レベル L は、式(2)のように、

表-4 振動感覚補正值

中心周波数 (Hz)	振動感覚補正值 C_R (dB)	
	水平方向	鉛直方向
0.125	3	-7.75
0.25	3	-7.5
0.5	3	-7
1	3	-6
2	2	-3
4	-3	0
8	-9	-1
16	-15	-6
32	-21	-12

振動の物理的の大きさを表す振動加速度レベルを、人体の感覚に合わせて補正することで求められる。

$$L = L_a + C_R \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

ここで、 C_R は振動感覚補正值(dB)であり、表-4に中心周波数ごとの振動感覚補正值を示す。周波数4Hzの鉛直振動に対する振動加速度レベルを基準としている。ただし、1Hz以下の成分の補正值は定義されていないため、樋口ら¹⁰⁾を参考にして決定した。

以上のようにして算出した、周波数成分ごとの振動レベルをパワー和²⁾で足し合わせることによって、振動レベルを求められる。

ここでは、振動レベルを用いて、実観測波形から、体験談に見られる上下→水平→上下の揺れ方の変化について考察を行う。

(2) 振動レベルを用いた解釈

本研究は揺れ方の違いを水平動と上下動の振動レベルの違いによって検討するので、3成分それぞれで振動レベルを算出する。また、5秒ごとの振動レベルを時間軸を1秒ずつずらしながら算出し、図示することで、振動レベルの時間的推移を見る。これによって、実観測波形から、人が感じる揺れ方がどのように変化しているかを考察する。

図-5に気象庁仙台宮城野区五輪での加速度波形と振動レベルを示す。なお、この振動レベルを用いると、人体によりよく感じられるくらいの弱い振動の振動レベルはおおよそ55dBであるため²⁾、縦軸の下限を55dBとしている。

振動レベルの時間的推移を見ると、40秒までは上下動が大きく、40秒から80秒までは水平動の方が大きい。しかし、80秒から90秒までは上下動が大きくなり、その後再び水平動が大きくなっている。このように、人間が感じる揺れ方が上下、水平、上下、水平と、変化している

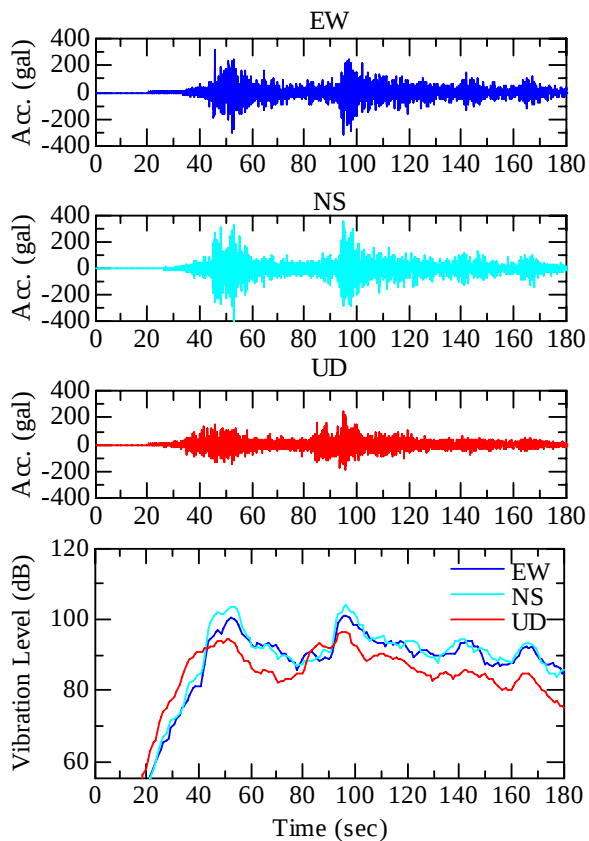


図-5 気象庁仙台宮城野区五輪での加速度波形と振動レベル

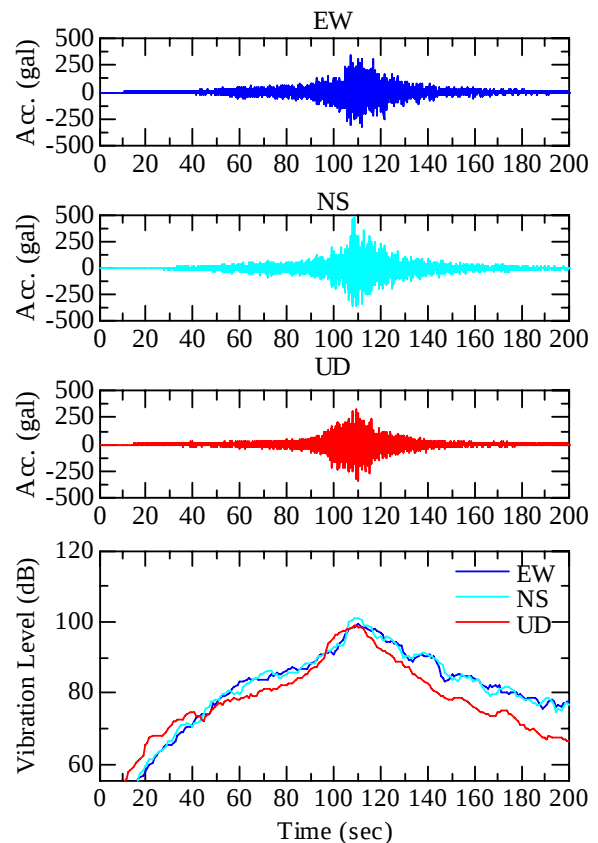


図-7 KiK-net 霞ヶ浦での加速度波形と振動レベル

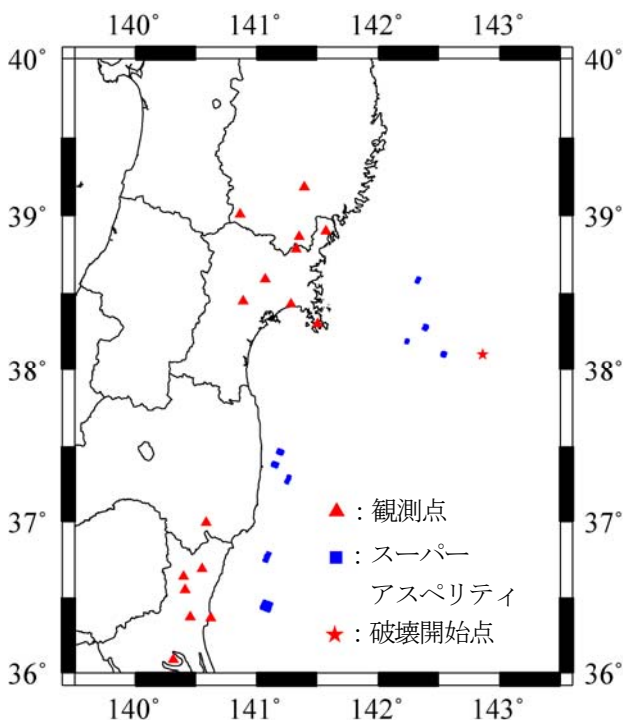


図-6 揺れ方が上下→水平→上下→水平と変化した波形が得られた観測点

ことが確認できる。また、140秒から170秒あたりで揺れが強弱を繰り返していることが読み取れる。

このように、上下、水平、上下、水平と、揺れ方が変化していることが確認できる波形は、K-NET、KiK-net観測点⁹⁾のうち、図-6に示す観測点で得られている。岩手県南部や宮城県、それに福島県南部と茨城県で得られている。

図-6には港湾空港技術研究所が提案している震源モデル¹²⁾を併せて表示しているが、観測点の近傍に、強い地震動を発生させるスーパーアスペリティ¹²⁾が複数存在している。

図-7にKiK-net霞ヶ浦での加速度波形と振動レベルを示す。振動レベルの時間的推移を見ると、40秒までは上下動が大きく、40秒から85秒までは水平動の方が大きい。しかし、95秒から105秒までは上下動の方が大きくなり、その後再び水平動が大きくなっている。

このように、図-6の宮城県での記録と同様に揺れ方が変化しているが、宮城県での記録とは異なり、比較的弱い揺れが長い時間続いた後、強い揺れが来る際に、先に上下動が大きくなり、その後水平動が大きくなっている。この傾向は他の記録でも同様であった。すなわち、岩手県や宮城県で得られた記録では、1度揺れが小さくなって、再び大きな揺れが来る際に上下動が水平動より大き

表-5 東北地方太平洋沖地震の体験談

市町村	体験談	特徴
宮城県仙台市 青葉区	三月十一日午後二時四十六分、私は二階の自室でマウスを握っていた。モニターが揺れ始めた。前々日に震度5の地震が、前日の夜中に震度3、朝方に震度4の地震が起きていた。今回もその程度の地震だろうと、かるくモニターを抑えていた。ゆら、ゆら、ゆらと揺れていたが、いきなり座っている椅子の下から、何ものかがガン、ガン、ガンと突き上げてきた。これはまずい。腰が浮いた。しかしすぐには立ち上がれない。足元がふらつく。身体を揺すられながらふらふらと立ち上がり、部屋のドアへ向かう。(中略)ふっと揺れが小さくなった。本で埋もれた足元を見ながら気を抜いた瞬間、先ほどの揺れよりもっと大きい、足元から突き上げてくる揺れが本棚を、それを支えている私を、その家が建っている地面を、仙台を、宮城を、東北を、大きく揺さぶった。 ⁷⁾	水平動のあとに激しい上下動 一度揺れが小さくなった後にまた大きな揺れ
宮城県亘理郡 山元町	三月十一日、それは一瞬にして、運命を左右する悪魔のできごとが始まった。私は自宅でパソコン検索をしていた(亘理郡)。午後二時四十分過ぎに、ジィ、ジィーという地盤が振動する音と同時に、ミシィ、ギ、ギューときしむ音で激しく揺れた。すぐに倒れそうなパソコンを押さえるも地震がなかなか収まらない。こうしている間にも、カラーボックスの中身やラジカセ、書類があっという間に無造作に飛び散る……揺れが収まり、片づけるも、さらに横揺れの大きな地震が襲いかかる。 ⁷⁾	一度揺れが小さくなった後にまた大きな揺れ
宮城県柴田郡 柴田町	仕事先は自宅から車で約40分ほど南の柴田町内にあり、PCに向かってデータの入力中でした。まず、胸ポケットの携帯がけたたましく緊急地震速報のアラーム音を発します。周囲に居た社員からも同じく警報音が鳴り響くとまもなく、揺れが始まりました。意外と静かな始まり方だなと感じながら、携帯の画面を開くと、「宮城県沖で大きな地震が発生しました」と表示されているため、「もしや、これが宮城県沖地震?」と思ったのを覚えています。 やがて、激しい横揺れとなりましたが、1分間ぐらいで収束の気配だったので、「この程度か」と思った途端、今まで経験したことがないもの凄い横揺れが襲ってきたのです。 ⁸⁾	段々激しく
福島県白河市	あの日、私は福島県白河市内で事務作業をしていました。そこに突然の緊急地震速報が鳴り響きました。じき何もできないまま震度6強の激しい縦揺れが市内全域を襲いました。 机の中にあわてて身を隠すも揺れは1分以上続き、至る所からガラスの割れる音が聞こえてきます。 館内に響く悲鳴。 容赦なく床に打ち付けられる落下物の破壊音。 街全体に響き渡る低いうなり声のような振動音。 そろそろ収まってもいい頃と思ったのもつかの間、更に強い縦揺れがおそってきました。 例えるならダートコースに全速力で突っ込んだような激しい縦揺れ。 ⁹⁾	激しい上下動 一度揺れが小さくなった後にまた大きな揺れ

くなっているのに対し、福島県や茨城県では弱い横揺れのあと、振動が最大になる際に上下動が水平動より大きくなっている。

5. まとめ

著者らはこれまで体験談をもとに南海地震の震源特性の推定を行ってきたが、体験談の解釈上の不確実性が指摘されてきた。今回、南海地震と同じ巨大海溝型地震で

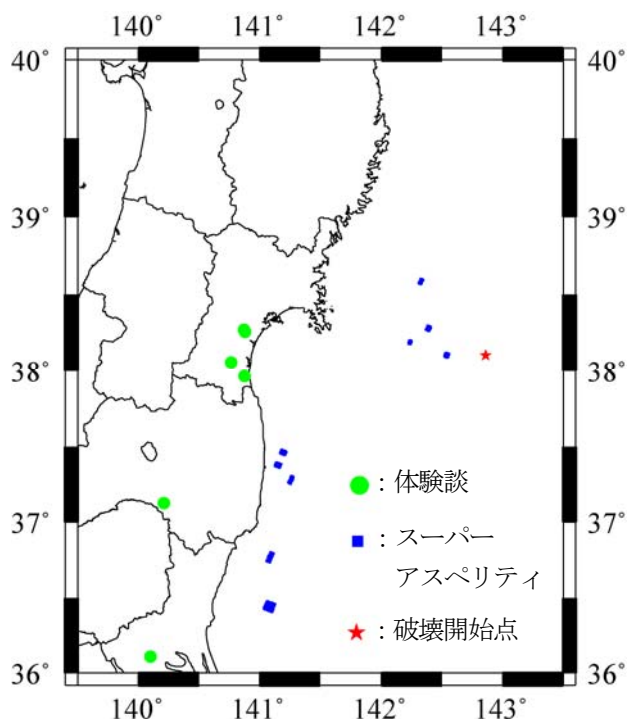


図-8 東北地方太平洋沖地震の体験談

ある東北地方太平洋沖地震が発生し、揺れに関する体験談と強震記録がセットで得られたので、体験談の解釈法の検証を行った。昭和南海地震では、「揺れが水平動から上下動に変化した」という体験談や「さほど大きくない横揺れがかなり長い間続いた後、急に大きな横揺れに襲われた」という特徴的な体験談が得られており、その解釈に不確実性が残っていたので、今回、それに類似した体験談と強震記録をセットで用い、検証を行った。

標準的な体感と実際の揺れの関係を対比するにあたり、感覚補正振動加速度レベルを用いて検討した。その結果、複数の観測点で揺れ方が水平動から上下動に変化したと一般的に感じたと思われる強震記録が確認された。

謝辞：本研究では防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET, KiK-net)の強震記録を使用いたしました。また、気象庁の強震記録を使用いたしました。関係各位に感謝の意を表します。一部の図の作成には、Generic Mapping Tools(Wessel and Smith, 1998)¹³⁾を用いました。記して、感

謝いたします。

付録 体験談の例

得られた体験談のうち、揺れ方が具体的に記述されている体験談の例を表-5に、それらの体験談の得られた地点を本文で紹介したものも含めて図-8にそれぞれ示す。

参考文献

- 1) 齊藤剛彦, 三神厚: 体験談に基づく 1946 年昭和南海地震の震源特性の検証, 地域安全学会論文集 No.15, pp.199-208, 2011.
- 2) 中野有朋: 環境振動, 株式会社技術書院, 131pp, 1996.
- 3) 野津厚, 菅野高弘: 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効果に着目した改良—, 港湾空港技術研究所資料 No.1173, 2008.
- 4) 防災科学技術研究所: 強震観測網(K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 5) 河北新報社: 河北新報のいちばん長い日 震災下の地元紙, 株式会社 文藝春秋, 269pp, 2011.
- 6) 筑波大学水圏生態学研究室: アルバム, <http://www.biol.tsukuba.ac.jp/aqua-eco/album.html>
- 7) あの日のわたし編集委員会: 東日本大震災 99 人の声 あの日のわたし, 創栄出版株式会社, 225pp, 2011.
- 8) 東日本大震災の記録 大津波の悲劇・惨劇の報道を追う, <http://memory.ever.jp/tsunami/>
- 9) ぴゅあどら: <http://pyuadora.com/column/column783.htm>
- 10) 気象庁: 強震波形 (平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震), http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/110311_tohokuchiho-taiheiyouoki/index.html
- 11) 樋口裕介, 三神厚, 澤田勉: 計測震度階と感覚補正振動加速度レベルの関係, 土木学会地震工学論文集 27-0073, 6pp, 2003.
- 12) 港湾空港技術研究所地震動研究チーム: 2011 年東北地方太平洋沖地震を対象としたスーパーアスペリティモデルの提案, 2012. http://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kz-o/jbn-bsi/taisin/sourcemodel/somodel_2011touhoku.html
- 13) Wessel, P. and Smith, W. H. F.: New improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, 79, 579, 1998.

(2012. ?? 受付)

VERIFICATION OF ACTUAL ACCOUNTS OF NANKAI EARTHQUAKE USING STRONG MOTION RECORDS FROM THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE

Takehiko SAITO, Atsushi MIKAMI and Susumu NAKANO

The authors have discussed the validity of fault models of the 1946 Showa-Nankai Earthquake based on actual accounts of people who experienced the earthquake. One problem, which is always evident, is the ambiguity of reported accounts. The 2011 Tohoku Earthquake, which was the same type of gigantic fault-type earthquake as the Nankai Earthquake, gave a lot of accurate strong motion records as well as recent actual accounts of people. Using this valuable information, our study attempts to verify the validity of using first-hand accounts to explain fault models of the Nankai Earthquake.