

3. 2. 1 変動地形学的及び地震地質学的活構造調査

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 2 ヶ年の年次実施業務の要約
 - 1) 平成 24 年度
 - 2) 平成 25 年度

(2) 平成 25 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
 - 1) 海水位変動調査
 - 2) トレンチ・ボーリング調査試料の追加分析
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献

3. 2 地殻構造調査等

3. 2. 1 変動地形学的及び地震地質学的活構造調査

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 変動地形学的及び地震地質学的活構造調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人 千葉大学理学研究科	教授	宮内 崇裕
国立大学法人 東北大学災害科学国際研究所	助教	石村 大輔
国立大学法人 千葉大学理学研究科	准教授	吉田 修二
国立大学法人 千葉大学理学研究科	准教授	金田 平太郎
国立大学法人 東京大学理学系研究科	准教授	池田 安隆
国立大学法人 東北大学理学研究科	教授	今泉 俊文
国立大学法人 北海道大学	名誉教授	平川 一臣
財団法人 地盤環境研究所	研究員	越後 智雄

(c) 業務の目的

東北地方太平洋岸近傍において発生する可能性のある地殻内地震の痕跡を探りそれらの震源となる活構造のプレート境界型巨大地震サイクルにおける役割を明らかにすることを目的とする。そのために三陸海岸沿岸部において、海水位変動観測、完新世低地の地震地質学的調査、高分解能 DEM による変動地形解析を行い、明らかにされた古地震時の地殻変動と海域調査及び陸域の地殻構造調査の結果を合わせて、沖合活構造の存否とその具体的性状について検討する。

(d) 2カ年の年次実施業務の要約

1) 平成 24 年度：

2011 年東北地方太平洋沖地震後の余効変動（非地震性変動）を正確に把握する必要があるため、三陸海岸において水圧計を用いた臨時験潮場を設置し定期的に地殻変動の観測を行った。また、完新世低地のボーリング調査・トレンチ調査及び高分解能 DEM による地形解析によって海岸を隆起・沈降させてきた沖合の活構造の活動に由来する地震性地殻変動の検出を行った。

2) 平成 25 年度：

2011 年東北地方太平洋沖地震後の余効変動（非地震性変動）を正確に把握するために三陸海岸に設置した水圧計を用いた臨時験潮場のデータを回収し、地殻変動の解析を行った。観測は本年度で終了した。また、これらと前年度実施した完新世低地のボーリング調査・トレンチ調査および高分解能 DEM による地形解析による成果と合わせて海岸を隆起・沈降させてきた沖合の活構造の活動に由来する地震性地殻変動について検討した。

(2) 平成 25 年度の成果

(a) 業務の要約

平成25年度は三陸海岸の垂直変動に関する海水位変動調査と地震地質学的調査を以下の項目について実施した。海水位変動調査では、30km間隔で港湾内に水圧計を合計8ヶ所設置し験潮記録を取得した。東日本大震災後の港湾復興工事との関係から水圧計設置工事自体が年度後半（12月～1月）に実施されたところが多いため観測期間が最長でも3ヶ月程度と短く、ローカルな要素に対する補正ができていないので、2011年東北地方太平洋沖地震後の余効変動（非地震性変動）の傾向を判読するほどに至っていない（継続観測中、平成25年度3月に撤収済み）。地震地質学的調査では、昨年度実施された岩手県下閉伊郡山田町小谷鳥におけるトレンチ・ボーリング試料の追加分析を行った。追加した放射性炭素年代測定とテフラ分析の結果、1896年明治三陸津波、1611年慶長三陸津波、869年貞観津波に対比可能な津波堆積物を認定した。また層相と堆積物の物性値（密度、強熱減量）から、上記の869年貞観津波に対比される津波堆積物の堆積後に地殻変動が生じたことが示唆された。昨年度得られた結果を考慮すると、小谷鳥では約6,000年以降でみると沈降傾向であるが、その間の短い期間で隆起・沈降が繰り返されている可能性がある。これらの隆起・沈降は巨大地震を示すと考えられる津波堆積物を境に認められることから、日本海溝における巨大地震サイクルに関係していると推定される。

(b) 業務の実施方法

平成 25 年度の調査は、三陸海岸において海水位変動調査とトレンチ・ボーリング調査試料の追加分析を行った。

海水位変動調査は、2011年東北地方太平洋沖地震後の余効変動（非地震性変動）をモニタリングするために、三陸海岸の8地点で平成24年度からの継続観測を実施している。各海岸の岸壁に水位計を用いた臨時験潮場を設置し定期的に地殻変動の観測を行った。

トレンチ・ボーリング調査試料の追加分析は三陸海岸中部の岩手県下閉伊郡山田町小谷鳥で平成24年度に実施されたトレンチ試料を対象とし、放射性炭素年代測定、テフラ分析、堆積物の物性値測定（密度・強熱減量）を実施した。放射性炭素年代測定は歴史津波との対比をより確実するために、テフラ分析は十和田 a テフラ（To-a）（AD915；町田・新井，2003）層準の認定を行うために、堆積物の物性値測定は堆積環境変化を推定するために実施した。以下に述べる（図中も含む）放射性炭素年代値は暦年較正し、 2σ の年代範囲を示す。暦年較正年代の計算には、IntCal13 データベース（Reimer *et al.*, 2013）を用い、OxCal 4.2 較正プログラム（Ramsey, 2009）を使用した。

(c) 業務の成果

1) 海水位変動調査

昨年度、長期にわたる連続観測を行うために、そして広範囲における垂直変動の実態を把握するために水位計を港湾8箇所に許可を得て設置した（図1）。水位計の水深は3m～5m（観測点での平均潮位からの水深であり、設置地点の推定余効変動量を十分に考慮）、観測間隔は10分間とした。港湾の復興工事が優先されたため、全点の機器設置工事が完了したのは平成25年3月である。連続観測はその時点から開始された。本プロジェクトが平成25年度で終了となったため平成26年度3月末に機器撤収がなされたが、本年度約1年間の連続

観測データが得られており解析中である。なお、設置8箇所のうち、暴浪により2箇所（浄土ヶ浜、要谷）での水位計が消失したため、実際の観測点は6箇所である。昨年度末に取得できた津ノ宮における約3ヶ月間の海水位変動データ（生データ）を以下に示す（図2）。今後、撤収とともに回収予定の生データに対して大気圧補正、年変動・季節変動・日変動のフィルタリングを実施し、地殻変動の傾向について検討する。

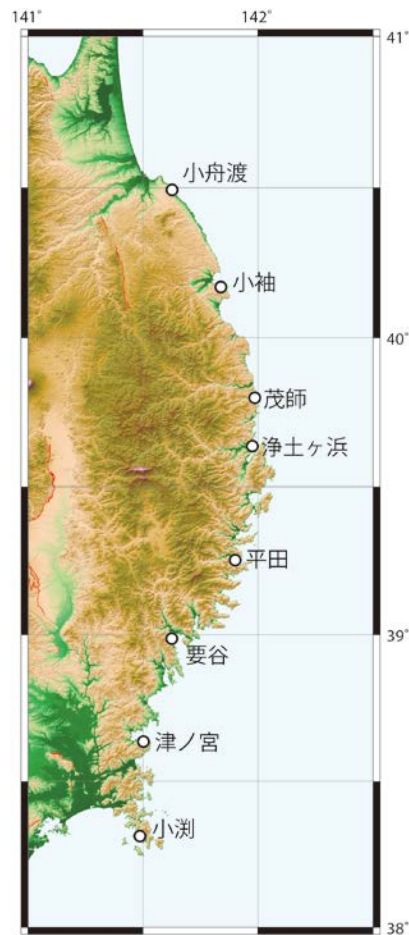


図1 水位計設置地点

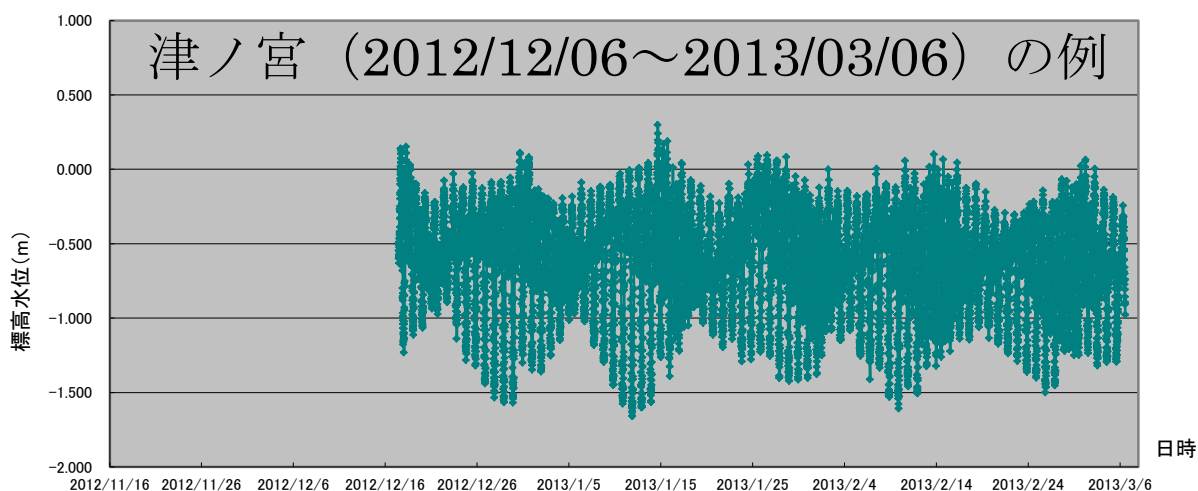


図2 津ノ宮における海水位変動

2) トレンチ・ボーリング調査試料の追加分析

平成 25 年度は、平成 24 年度に岩手県下閉伊郡山田町小谷島で実施した調査試料を用いた。小谷島では、浜堤の背後に広がる低湿地で平成 24 年 12 月にトレンチ・ボーリング調査を行った (図 3)。平成 24 年度のトレンチ調査の結果、トレンチ壁面では 11 層の津波堆積物 (E1~E11; E1 は 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波堆積物) と 2 層のチャネル堆積物が認められた (図 4)。平成 24 年度の放射性炭素年代測定の結果、E11 直下の年代は 3080-3340 CalBP であり、E3 直下の年代は 310-510 CalBP という年代値が得られた。E4 堆積物は堆積前後での堆積環境変化が示唆されており、さらにその年代は歴史津波 (特に 869 年貞観津波) に対比される可能性がある。そこで、平成 25 年度は最上部の E2-E4 堆積物の年代推定と E4 前後の堆積環境変化を推定するために、放射性炭素年代測定、テフラ分析、堆積物の物性値測定を実施した。

放射性炭素年代測定の結果 (図 5)、E2 は上下の年代値から modern-290 CalBP に堆積したと推定される。この期間に小谷島を襲った歴史津波としては、1933 年昭和三陸津波と 1896 年明治三陸津波が挙げられるが、その津波の規模・遡上高 (東大地震研究所, 1934; 卯花・太田, 1988) を考慮すると E2 は規模の大きい 1896 年明治三陸津波に対比可能である。E3 は上下の年代値から 310-620 CalBP に堆積したと考えられる。この時代に小谷島を襲った大規模な津波は 1611 年慶長三陸津波が挙げられる。また、今村 (1934) が小谷島での遡上高が 25 m 以上と述べていることと矛盾しない。E4 は上下の年代値から 670-1350 CalBP に堆積したと考えられる。この時代に小谷島を襲った大規模な津波は歴史記録には残っていない。ただし、この時代には 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波と同様に仙台平野・石巻平野を襲った 869 年貞観津波が知られており (Minoura and Nakaya, 1991; 澤井ほか, 2007; 宍倉ほか, 2007)、E4 はそれに対比される可能性がある。ただし、年代値の不確かさがあるため、放射性炭素年代測定結果からはこれ以上の議論ができない。そこで、仙台平野・石巻平野の 869 年貞観津波堆積物認定に用いられている To-a の層準を認定するために E4 前後でテフラ分析を行った。

テフラ分析の結果（図 6， 7）、E4 堆積後の層準で火山ガラスが急増する層準が認められた。E4 前後の火山ガラスの屈折率を測定したところ、E4 後では 1.504-1.511（モード：1.507-1.508）を示し、E4 前では 1.502、1.507、1.509-1.514（モード 1.512）を示す。To-a の火山ガラス屈折率は 1.500-1.508（町田・新井，2003）であることから、E4 後に急増した火山ガラスは To-a 起源であると推定される。さらにこの火山ガラスの主成分組成を測定した結果も To-a の値と整合的であった。これらの結果から E4 後に To-a が降灰したと推定され、放射性炭素年代測定結果と組み合わせると E4 は 869 年貞観津波に対比される可能性が高い。

E4 堆積物前後の堆積環境の変化については、平成 24 年度の報告書にあるように泥炭層の分解の程度が E4 前後で変化する。E4 前は分解が進み植物遺骸が少ないのに対して、E4 後には未分解の植物遺骸から構成される。それらを定量的に評価するために湿潤・乾燥密度と強熱減量を測定した（図 6）。強熱減量は有機炭素量の指標として用いたため、津波堆積物間の泥炭層及び有機質粘土シルト層を対象とした。結果、低密度であるほど有機炭素量が多いことから、本地点では密度と強熱減量は逆相関していると考えられる。また全体的にはトレンチ底部の有機炭素量が多く、E4/E5 間がどの壁面でも最も小さな値を示す。そして E4 後では上位へ向かって増加する傾向が見られる。ちなみに E3 より上位は耕作土であるため下位の値とは比較できない。これら E4 前後の物性値から湿地環境の変化を考察すると、E4 前には地下水位が低い、もしくは陸化したような酸化環境であったと推定され、E4 後には地下水位の上昇（湿地化）が起こり、還元的な環境になったと推定される。本地点の地下水位は、海面との比高及び上流からの水の供給量で決定される。対象とする期間の絶対的な海水準は安定していたと仮定することができるが、トレンチ地点への上流からの水供給が安定していたかどうかを推定することはできないため、ここでは安定していたと仮定する。その場合、E4 前後で地下水位が低い環境から高い環境への変化は地殻変動に伴う地盤の沈降を示唆している。

このような E4 前後での堆積環境変化を示すと図 8 (a) のようになる。E4 後に沈降が生じたとすると相対的な海水準は上昇し、より標高の高い部分に浜堤が形成されその背後に新たな堆積空間が形成される。この場合、地殻変動が E4 後に生じたと推定されるがそれが地震時の変形か、その後の変動（余効変動や地震間変形）によるものかは不明である。また E4 堆積物の堆積直後に 2 つのチャンネルによる削り込みとその埋積が 1,300-900 CalBP に生じており、このような顕著な削り込みは浜堤に画され安定した湿地では起きにくいと考えられる。そこで、このチャンネルによる削り込みが地殻変動に伴う現象と考えた場合、上述の地殻変動とは逆に E4 直後に侵食基準面である海面に対して隆起した可能性を示唆している（図 8 (b)）そして、そのチャンネルは湿地堆積物により埋積されており、チャンネルによる削り込み後に上述の沈降（図 8 (a)）が生じたというシナリオが描ける。この場合、E4 後の隆起と沈降という順序から、隆起が地震時変形であり、沈降が地震後の変形と捉えることが可能である。このように本地点の分析結果からは、E4 後での地殻変動が示唆され、E4 後の地殻変動に関して 2 つのシナリオを描くことができた。また E4 が 869 年貞観津波堆積物であった場合には、869 年貞観津波の到達範囲が三陸海岸中部に広がるだけでなく、三陸海岸中部に地殻変動を及ぼすような破壊領域（現在推定されているよりも北側へ広が

る)も推定する必要があり、本年度の結果は重要な示唆を与えている。しかし、これらの仮説の検証には今後より広い範囲において同様の地殻変動の検出を行う必要があり、本地点のみでは結論づけられない。

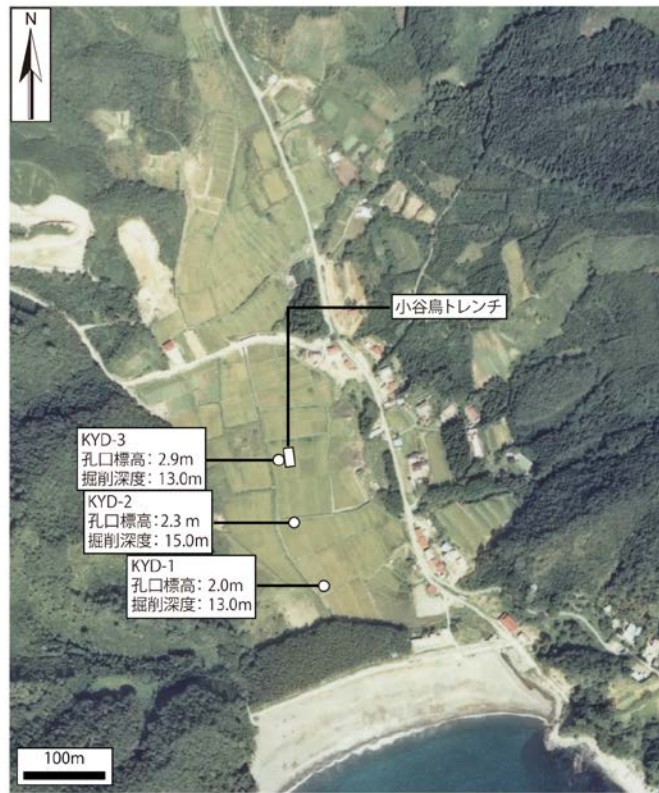


図3 小谷鳥におけるトレンチ・ボーリング調査地点

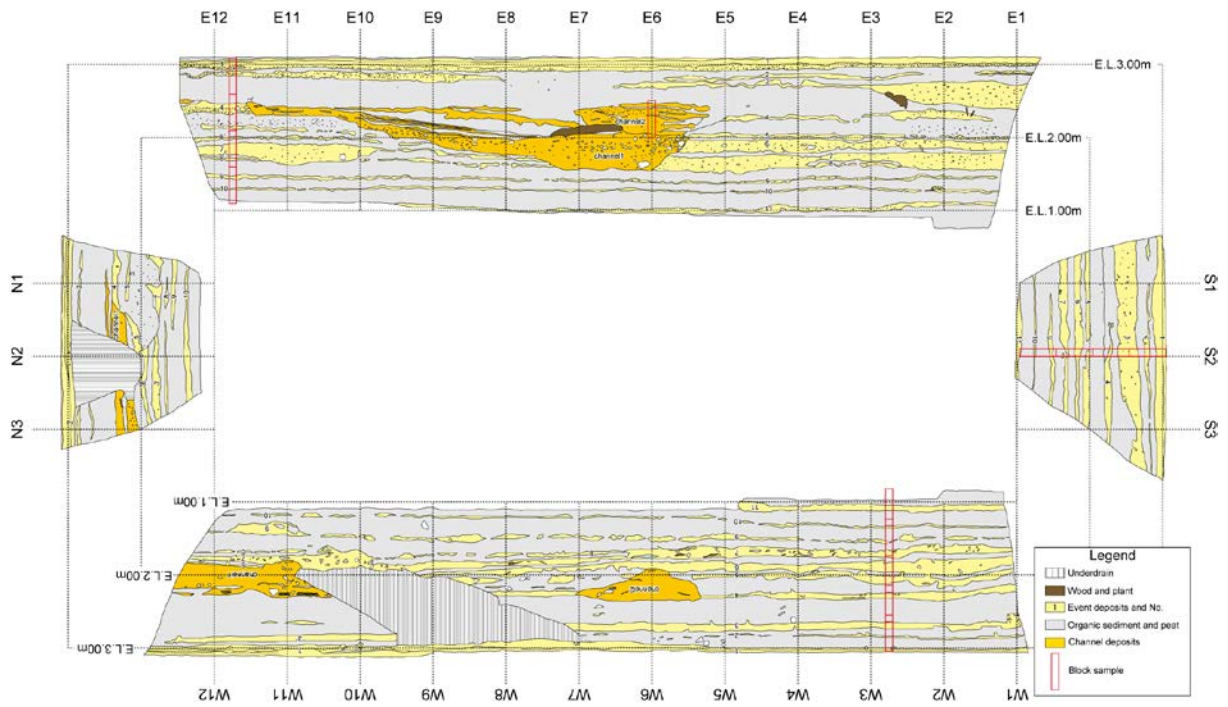


図4 小谷鳥トレンチのスケッチ

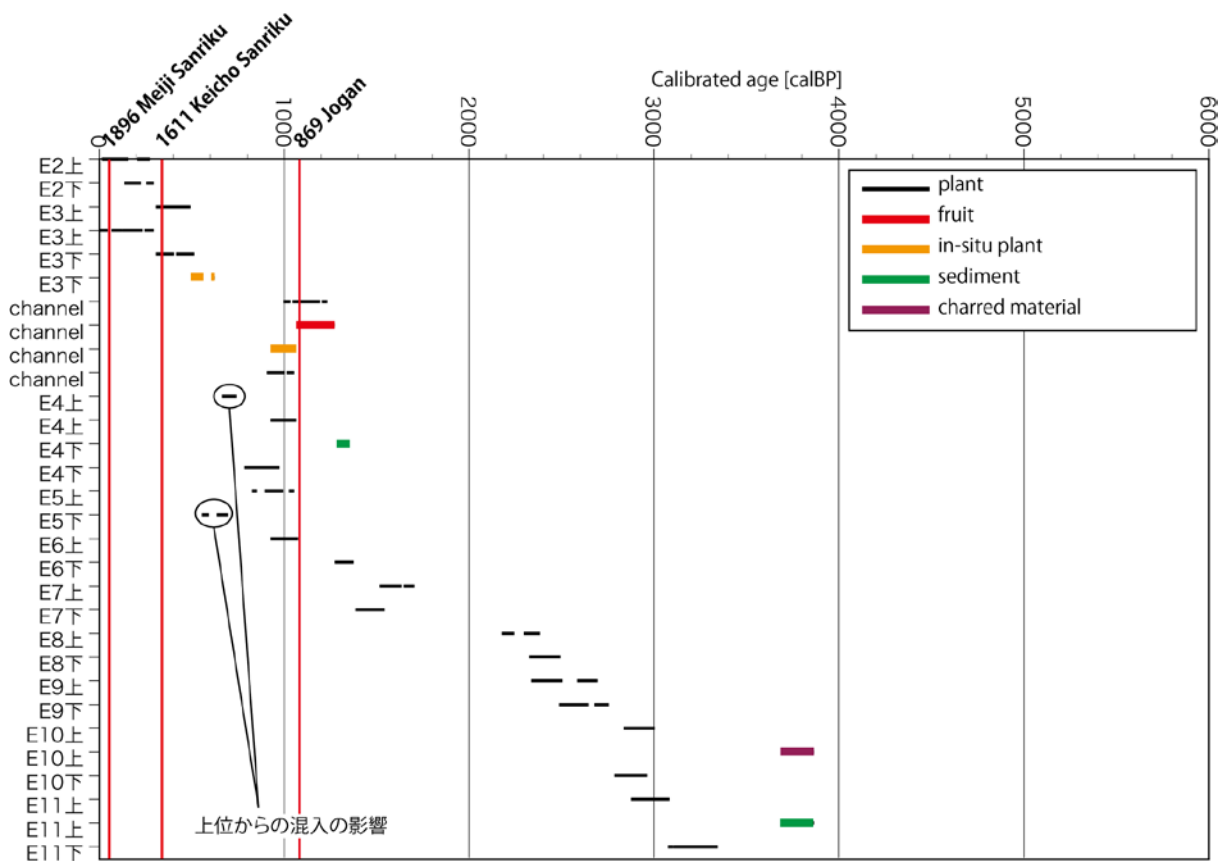


図5 小谷鳥トレンチのイベント堆積物の年代

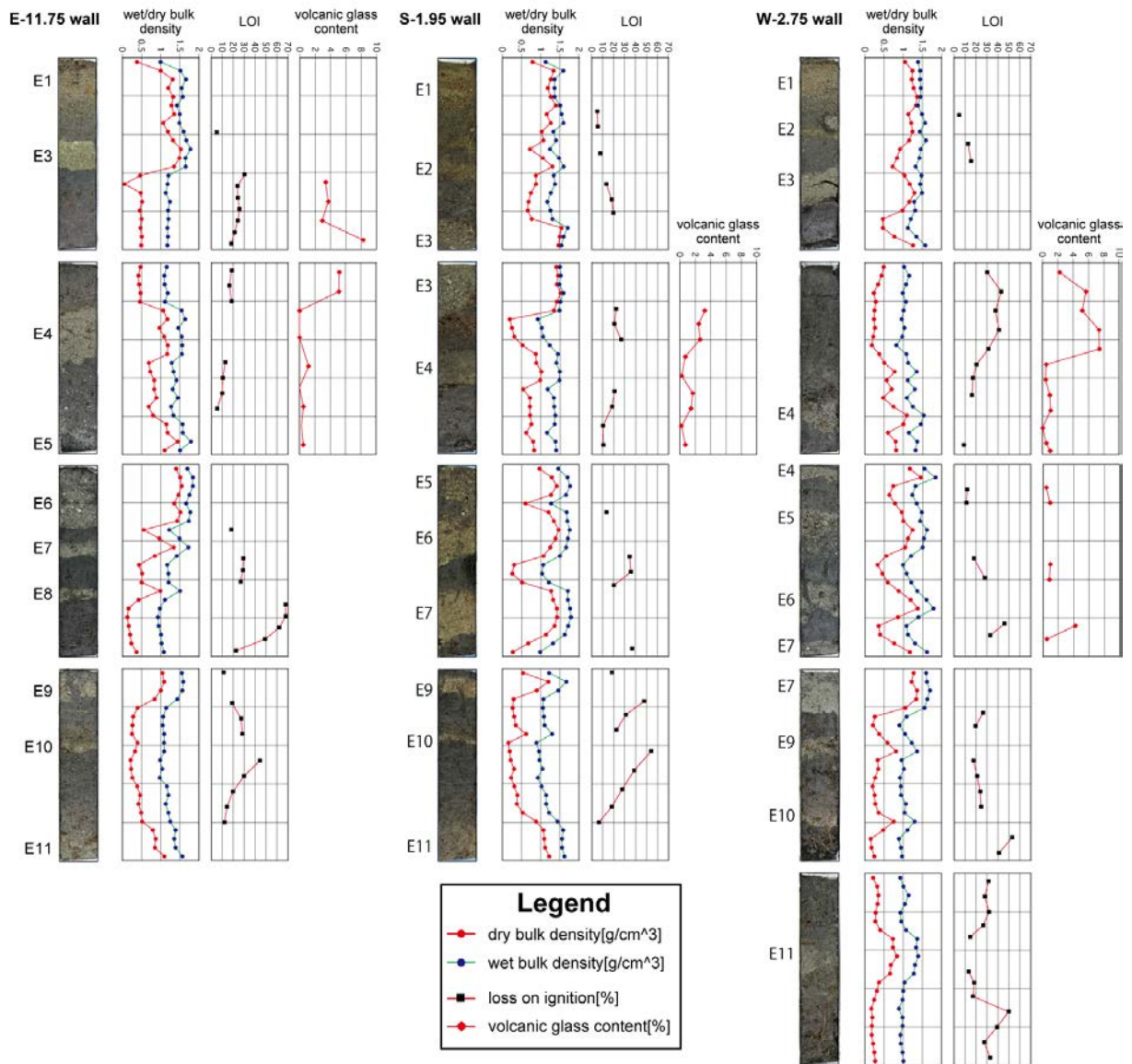


図6 小谷鳥トレンチブロック試料の分析結果

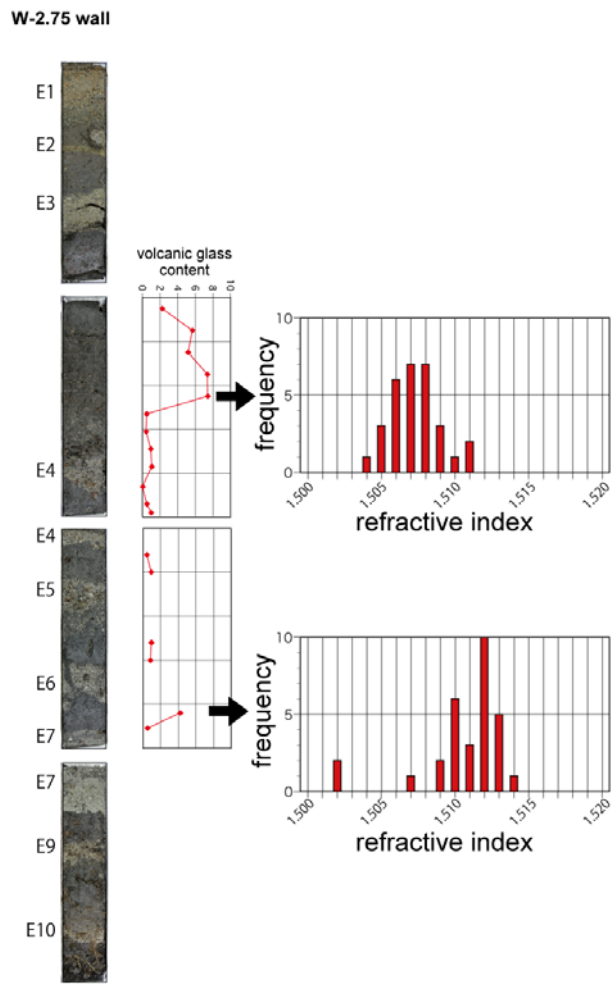


図7 火山ガラスの屈折率測定結果

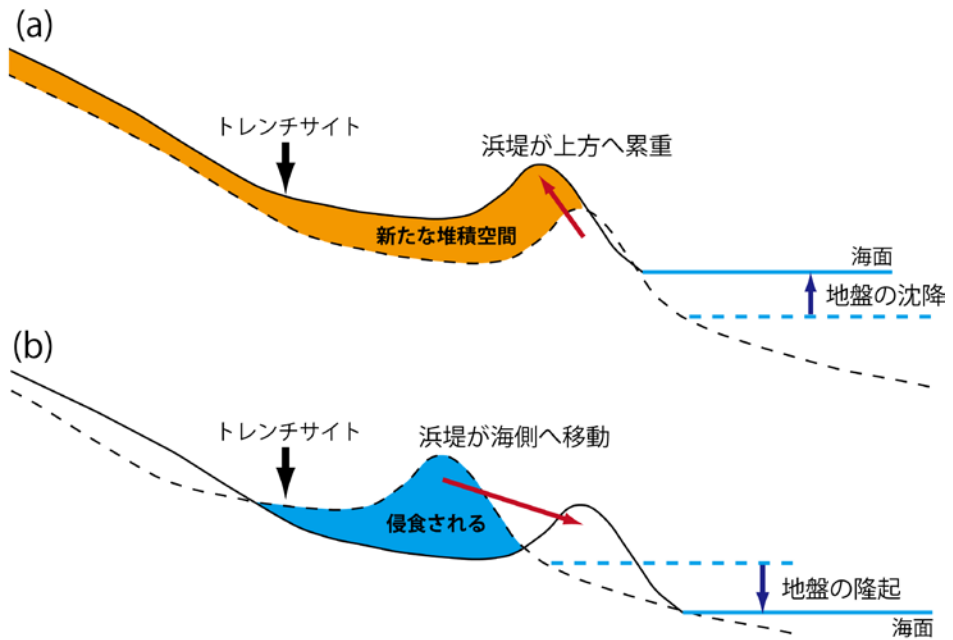


図8 E4後に推定される地殻変動と地形・堆積環境の変化

(d) 結論ならびに今後の課題

初年度であり、現在のデータは散点的であり、十分な解析・議論がし尽くされていないが、予察的な結果としては以下のようにまとめられる。

1. 海水位変動調査では、予定した地点において水位観測自体は着手できたが、観測期間が短いこと、水位評価のためのローカルな要素について未補正であることから、2011年東北地方太平洋沖地震後の余効変動（非地震性変動）については言及できていない。年レベルでの観測継続と必要な補正を行うことで余効変動等に関する垂直変動について十分検討できるものと期待される。

2. 三陸海岸中部の岩手県下閉伊郡山田町小谷鳥におけるトレンチ・ボーリング調査試料の追加分析から、3つの歴史津波（1896年明治三陸津波、1611年慶長三陸津波、869年貞観津波）に対比可能な津波堆積物が認められた。また869年貞観津波に対比される津波堆積物の前後では堆積環境の変化が認められ、その変化はE4後の地殻変動を示唆しており2つのシナリオが想定された。ただし、これらのシナリオを検証するためには本地点の上方のみでは不十分であり、今後近地の複数地点での証拠やより広い範囲の証拠を蓄積する必要がある。

(e) 引用文献

今村明恒（1934）三陸沿岸における過去の津波について，*地震研究所彙報*，別冊1号，1-16.

町田・新井（2003）*新編火山灰アトラス*，東京大学出版会.

Minoura, K. and Nakaya, S. (1991) Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: some examples from Northeast Japan, *Journal of Geology*, **99**, 265-287.

Ramsey, B. C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates, *Radiocarbon*, **51**, 337-360.

Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatte, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M., and van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP, *Radiocarbon*, **55**, 1869-1887.

澤井祐紀・宍倉正展・岡村行信・高田圭太・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤井雄士郎・藤原 治・佐竹健治・鎌滝孝信・佐藤伸枝（2007）：ハンディジオスライサーを用いた宮城県仙台平野（仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町）における古津波痕跡調査，*活断層・古地震研究報告*，**7**，47-80.

宍倉正展・澤井祐紀・岡村行信・小松原純子・Than Tin Aung・石山達也・藤原 治・藤野滋弘（2007）石巻平野における津波堆積物の分布と年代，*活断層・古地震研究報告*，**7**，31-46.

東大地震研究所（1934）津波被害及状況調査報告，*地震研究所彙報別冊*，第1号.

卯花・太田（1988）明治 29 年 6 月 15 日 三陸沿岸大海嘯被害調査記録 -山奈宗真-, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, 5, 292-379.