

Heavy minerals in the 2011 Tohoku-oki tsunami deposits-insights into sediment sources and hydrodynamics

Jagodzinski, R., Sternal, B., Szczucinski, W., Chague-Goff, C., Sugawara, D., *Sedimentary Geology*, 282, 57-64.

2011年東北沖地震の津波堆積物中の重鉱物—堆積物の起源と流体力学への洞察による評価

ABSTRACT

2011年の東北沖津波は仙台の海岸平野の4km以上内陸まで砂質、泥質の堆積物をもたらした。その津波堆積物と津波前の土壌、海浜の堆積物は粒度、重鉱物含有量と組成が調べられ、重鉱物分析が津波堆積物の同定や、堆積過程の解釈に有用かどうか検証された。重鉱物は粒度0.125~0.25mmの範囲の津波堆積物中に平均35%含まれていた。最も一般的なものには斜方輝石、単斜輝石、角閃石、褐鉄鉱、不透明鉱物がある。重鉱物の濃度、組成は津波堆積物、海岸、津波前の土壌や堆積物において差がないため、重鉱物によって単純に同定することはできない。堆積物の起源を調べた結果、海岸線から1.5kmまでの範囲の津波堆積物は海岸の砂や、砂丘、その土地の土壌から浸食されたもので、1.5kmより内陸のものはその土地の土壌から浸食されたものであることが明らかになった。沖浜の堆積物の寄与が大きいという証拠は見出せなかった。より詳細な分析で、津波堆積物の最下部はその土地の土壌が起源で、一方上部の堆積物の供給源は様々であることが分かった。2004年のインド洋津波の堆積物の重鉱物に関する先行研究との比較で、津波堆積物中の重鉱物はほぼ供給源に依存し、津波堆積物の研究に有用な支持的な方法になり得ることがわかった。しかし、その解釈は、常に現地の地質環境的文脈内にあり、他の「津波プロキシ」と組み合わせなければならない。

1. Introduction

2004年インド洋沖津波と2011年東北沖津波によって発生した未曾有の天変地異は、津波災害の評価のための重要な手段として、津波の地質学的記録に研究者の関心を向かわせた。津波堆積物は過去の津波の認定や、それらの規模の評価に使えるかもしれない(e.g. Atwater, 1987, Nanayama et al., 2003, Pinegina et al., 2003, Cisternas et al., 2005 and Jankaew et al., 2008)。しかし、津波堆積物は多様であり、過去の津波を確実に認定するには、最近の津波と過去の津波の研究によって得られる指標、あるいは尺度が必要である。指標とは、堆積学的(堆積構造と組織)、物理的(帯磁率の異方性)、古生物学的(貝、珪藻、有孔虫、花粉、ナノ化石)、地球化学的、鉱物学的な特徴のことである。それらは最近様々な研究の中でまとめられ(e.g. Morton et al., 2007, Shiki et al., 2008, Bourgeois, 2009, Mamo et al., 2009, Chagué-Goff, 2010, Peters and Jaffe, 2010, Chagué-Goff et al., 2011; Goff et al., 2012)、現地の状況を踏まえて解釈した指標を多く使

うことが、過去の津波堆積物を認定するためには、不可欠であると結論づけられた。さらに、堆積後の堆積物の変化も考慮しなければならない (Nichol and Kench, 2008, Szczuciński, 2012 and Goto et al., in press). 堆積学的特徴などの、よく使われる指標もあるが、多くのもの、例えば津波堆積物の鉱物の組成などは、発展途上である。

重鉱物は、最近使われるようになった指標である。重鉱物とは、岩石を構成するもっとも一般的な造岩鉱物 (石英など) よりも密度の大きい鉱物のことで、 $2.8\sim 2.9\text{ g cm}^{-3}$ 程度である。重鉱物は過去の流体力学や運搬の復元だけでなく、堆積物の起源の解明にも役に立つかもしれない (see Mange and Wright, 2007 for a review). 重鉱物は沿岸の堆積物によく含まれており、津波堆積物中にも認められる (e.g. Jaffe et al., 2003, Singarasubramanian et al., 2006, Szczuciński et al., 2006, Babu et al., 2007, Babu et al., 2010, Bahlburg and Weiss, 2007, Morton et al., 2007, Morton et al., 2008, Narayana et al., 2007, Higman and Bourgeois, 2008, Loveson et al., 2008, Jagodziński et al., 2009, Jonathan et al., 2011, Moore et al., 2011 and Switzer et al., 2012). 重鉱物は明瞭な葉理として記録されことも多く、すべての堆積層の1%以下から90%以上を占めることもある。しかし、詳細な分析がされることはほとんどない。Babu et al., (2007,2010)では、2004年インド洋津波の前後のインド南西部の海浜と沿岸の堆積物における重鉱物を分析した。彼らは重鉱物濃度の増加、重鉱物の組成の変化を観察したが、調査したものが本当に津波堆積物なのか、定かではなかった。2004年インド洋津波の堆積物と十分に定義されたものは、タイのコーカオ島で Jagodziński et al. (2009)によって調査され、海浜の堆積物と、津波前の土壌に比べ、電気石、ジルコン、不透明の重鉱物が減少し、かわりに雲母が増加していることを発見した。雲母 (黒雲母と白雲母) の増加は、津波堆積物中の上部に向かって増加し、これは上方細粒化に一致し、堆積メカニズム (懸濁流からの堆積) を反映していると考えられた。

本研究の全体的な目的は、2011年東北沖津波がもたらした津波堆積物において、重鉱物分析の有用性を検証することにある。本研究では特に次の3つを目的とする。

- ・2011年東北沖イベントによってもたらされた津波堆積物、海浜の土壌、津波前の土壌の鉱物学的組成を記録する。
- ・重鉱物の統計分析に基づく、津波堆積物の供給源の解明。
- ・津波の堆積物の輸送、堆積過程への、新たな知見を加えること。

加えて、2004年インド洋沖津波と2011年東北沖津波の堆積物における重鉱物の組成と空間的变化を、過去の津波の研究の方法の潜在的適応性の観点から比較、議論をした。

2. Study area

本研究は、仙台空港の北の仙台平野の、海岸線に対して直交する横断線 (T3) に沿って行った (Fig. 1). T3は、幅150mの海岸、最大3mの高さの砂丘に覆われ、大きな被害を受けた海岸林、用水路や排水路、盛り上がった堤防、道などが交差する海拔の低い水田を横

切る(Fig. 1). 2011年3月11日の東北沖津波の浸水域は、少なくとも4.85km内陸まで達した(Chagué-Goff et al., 2012-this issue). 海岸線近くの水の跡を見ると、津波の高さは少なくとも10mで、内陸に向かって低くなっていた(Goto et al., 2011). Sugawara and Goto (2012-this issue)によるモデルは、第1波が最も大きな浸水を起こした後、低い波が数回押し寄せたことを示す。横断線に沿って、津波堆積物は最大30cmの厚さがあり、内陸に向かって薄層化していた。津波堆積物は1~1.2km内陸までは砂、そこから2.8km内陸までは上部を泥に覆われ、リップアップクラストを含む砂層、それより内陸は非常に薄い砂層の上に泥層が重なる堆積物であった(Goto et al., 2011).

低地である仙台平野は、完新世に形成された沖積平野であり、主に、砂質の浜堤や砂丘、そしてそれらの間に後背湿地によって構成される(Matsumoto, 1985 and Sugawara et al., in press). 2つの大きな川とその他いくつか小さな川が流れている。それらの川のうち、名取川と阿武隈川がこの地域の沿岸の堆積物の大部分を運搬している(Sawamoto, 2002). 河口に運ばれた堆積物は、沿岸流によって北へ運ばれる。したがって、研究地域の海浜の堆積物は、測線より10km南に河口がある阿武隈川が供給していることになる。那須岳付近より流れる阿武隈川の5,405km²に渡る流域は、東を阿武隈山地、西を脊梁火山帯(奥羽山脈)に囲まれている。阿武隈山地は花崗閃緑岩、トナライト、石英閃緑岩が多くを占めているが、角閃石斑れい岩、ペグマタイト、チタン鉄鉱に富む花崗質岩、磁鉄鉱に富む花崗質岩や花崗岩も普通にある(Oide et al., 1989). 安山岩質溶岩、火砕岩、堆積岩が火山帯の脊梁山脈で優位を占める(Oide et al., 1989). 火砕質の堆積物は、普通、角閃石を伴う斜方輝石の凝灰岩や、単斜輝石を含む石英安山岩からなり、堆積岩は、凝灰質砂岩、泥岩、凝灰岩からなる。変成岩と花崗岩がこの区域の中間に存在している。重鉱物の分布は、仙台湾内の沿岸流に因り、海岸線に沿って変化する。阿武隈川の河口付近では、磁鉄鉱の重量比が35%を超えるのに対し、研究した測線近くでは20%に減少している。

3. Materials and methods

サンプル採取は、2011年5月にユネスコ政府間海洋学委員会の津波調査チームによる調査期間の、横断線T3に沿って行った。本研究では、海浜の堆積物から2個、津波前の土壌、堆積物から8個、津波堆積物から55個の合計65個のサンプルについて調べた。海浜の表面の堆積物は、津波前の状態が完全なまま保存された地点(サンプルB1)と、津波の後で元に戻った地点(サンプルB2)からそれぞれ採取した。津波堆積物と津波前の土壌(後者は各コアの最下部 Fig. 2 参照)は、横断線沿いの9つの堅穴から採取した(Fig. 1)。堅穴の深さは、津波堆積物の厚さによって変え、最大30cmであった。津波堆積物は、層位に基づき、1cm未満から5cmの間隔をあけて採取した。

一般的な堆積物の分類を行うことと、重鉱物分析を行う粒度に分離するため、全てのサンプルを0.063mmのふるいで洗い、乾燥後、1φの間隔で6つに分けた。有機物を多く含むサンプルは、ふるい分けの前にオキシドール処理を行った。基本的な粒度の統計(平均、

分級度)は Gradistat software (Blott and Pye, 2001)の対数モーメント法を用いて計算した。粒度が 0.125~0.25mm のものは、重液 (ポリタングステン酸ナトリウム— $\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})\cdot\text{H}_2\text{O}$ 密度 2.84 g cm^{-3})により、重鉱物を分離する処理を行った。その後、炭酸カルシウム鉱物を除くため、塩酸で処理した。分離した重鉱物は、カナダバルサムでスライドに固定し、岩石顕微鏡下でカウントし、光学特性に基づいて同定した(Mange and Maurer, 1991)。さらに、薄片を作成し、走査型電子顕微鏡(SEM)と Energy Dispersive Spectroscopy(EDS)によって、重鉱物を化学組成に基づいて同定のチェックを行った。約 330~600 (平均 450) 個の重鉱物をスライド毎に同定し、計測結果を%に換算した。重鉱物の組成の類似性は、全ての割合のデータを使ったユークリッドの類似度に基づいて行われる Statistica 10 software のクラスター分析によって調べた。

4. Result

4.1 堆積物の特徴

約 150m の幅の海岸は、主に分級度が中程度から良好な中粒砂で構成されていた (Fig. 2)。津波後に元に戻った海浜堆積物 (B2) は、風によって飛ばされた、海岸中央部分の堆積物よりも粗粒であった。海浜中央部は部分的に津波によって浸食された。

被害を受けた海岸林に覆われた砂丘の上の厚さ 28cm の津波堆積物は、主に上方細粒化する中粒砂で構成されていた (Site S05)。堆積物は不明瞭なラミナで、最大直径 3cm の礫を含んでいた。その下の黒色土壌は、砂と有機物を含む泥からなる。海岸線からの距離が 630m の S13 地点では、アスファルトの道路の上に 8~9cm の厚さのラミナを持つ中粒砂から成る津波堆積物が堆積していた。ラミナは暗色の重鉱物含有量の変化に起因する。その堆積物は、底部が上方粗粒化し、その上は上方細粒化する堆積層である。地点 S22 と S24 においては、水田の互いに 100m 程度離れたところでサンプル採取を行った。これら地点での津波堆積物は、それぞれ 11cm, 23cm の厚さであり、中粒~粗粒砂からなり、津波前の泥質砂を覆う。堆積物は重鉱物含有量の差によって生じたラミナを持ち、その地点の土壌のリップアップクラストを含み、上方粗粒化、そして上方細粒化する傾向が見られた (Figs. 2 と 5)。地点 S24 では上方粗粒化と上方細粒化が繰り返した。地点 S34 は海岸線から約 1740m 離れた場所でサンプリングした、厚さ 10cm の津波堆積物は、主にラミナの発達した中粒砂と細粒砂からなり、泥の薄層に覆われる。津波堆積物の下には泥質砂の土壌があった。地点 S44 の津波堆積物は 10.5cm の厚さで、10%以上泥を含む細粒砂、中粒砂で構成されていた。堆積物はラミナが見られ、上部は明瞭な上方細粒化を示す。その下の土壌の粒度は、津波堆積物の最下部の粒度に似ていた。地点 S60 と S72 は海岸線から 3km 以上内陸の水田にあり、厚さ約 2cm の津波堆積物で覆われ、多くの泥割れを伴う泥から成り、その基底には、極めて薄い砂を多く含むラミナがあった。地点 S60 と S72 では、津波前の土壌は津波堆積物より若干粗粒であった。最も内陸に位置する地点 S84 は海岸線から 4360m のところでサンプリングをした。津波堆積物は厚さわずか 2mm で、泥と有機物 (藁)、極少量の

砂で構成されていた。その下の土壌は砂質泥であった。

4.2 重鉍物組成

今回研究対象とした粒度 (0.125~0.25mm の細粒砂) の重鉍物含有量は 7.4wt.% (地点 S13-04 ; 特に地点 S13 の深度 4cm の上部の範囲) から 69.7 wt.% (地点 B01-00) までに及び、平均 33.8%であった (Fig. 3)。重鉍物成分は、次のように主要あるいは副次的な鉍物で構成される。

主要な鉍物は全重鉍物含有量の 96%を占める。このグループは、斜方輝石 (Opx), 単斜輝石 (Cpx), 角閃石 (Am), 不透明鉍物 (Nt) (不透明鉍物や褐鉄鉍) を含む。斜方輝石が最も一般的で、平均 54.9%を占めていた。この値は、サンプル毎の変動がほぼなく、41.4% (S24-03) ~65.8% (S84-02) であった (Fig. 3)。単斜輝石と角閃石の含有量は類似しており、それぞれ 8.9% (S24-00) ~19.6% (S22-08), 8.7% (S22-11) ~25.9% (S05-05) で、平均は 13.1%, 15.9%であった。非透過鉍物は、不透明鉍物がほとんどを占めているが、2.1% (S60-02) ~22.8% (S22-11) (平均 9.3%) で、褐鉄鉍は 1.0% (S05-05) ~6.3% (B02-00) (平均 3.4%) であった。

副次的な鉍物は、ほとんどのサンプルで少量しか見つからなかったうえに、数サンプル中にしか発見されなかった。副次的な鉍物には電気石、緑簾石、緑泥石グループ、ザクロ石グループ、チタン鉄鉍、白雲母、黒雲母、ルチルが含まれる。それらの内、緑簾石、電気石は最も一般的で、重鉍物成分の内、0.5%以上を占めることもよくある。緑泥石、ザクロ石、チタン鉄鉍も半分以上のサンプルで、約 0.2%以上見られたが、白雲母、黒雲母、ルチルは、1 サンプルのみでしか見られなかった。

4.3 津波堆積物、海浜堆積物、津波前の土壌の中の重鉍物

一般には、重鉍物含有量と組成は、津波堆積物、海浜堆積物、津波前の土壌において、類似している (Table 1)。海浜堆積物サンプルにおける重鉍物の合計含有量は、3つの中で最も高く、平均 45%であった。津波堆積物、津波前の土壌中の重鉍物成分は、内陸に向かって減少し、それぞれ平均 35%, 25%であった。3つの堆積物のタイプの中で見つかった鉍物種は同じで、割合にわずかな違いがあった (Table 1)。例えば、海浜堆積物は、斜方輝石が少ない傾向にあり、他の堆積物のタイプと比べて非透過鉍物、副次的な鉍物が多くなっていた。津波堆積物と海浜堆積物は、平均して津波前の土壌より角閃石がわずかに多かった。

サンプル間の類似度を測るため、重鉍物組成のクラスター分析を行った。それにより、大きく A~F の 6つのグループに分けることができた (Fig. 4)。基本的に、A~D のグループは1つのクラスターであり、そして、海岸から 1.5km 以内の地点の土壌、海浜堆積物、ほぼ全ての津波堆積物サンプルを含む。グループ E, F は、別のクラスターに分類され、より内陸の地点の津波堆積物や土壌サンプルを含む。さらに、グループ A は B に、C は D に

それぞれ類似していた。A 群は津波前の海浜堆積物，最も海岸線に近い地点 S05 の津波前の土壌，海岸線から約 1km 以内の地点 (S05, S13, S22) の津波堆積物の下部を含む。B 群は地点 S22, S24 の津波前の土壌のサンプル，津波堆積物の最下部を含み，その地点は互いに 100m 離れていた。地点 S24 の上 2 つのサンプルもこのグループに分類されていた。C 群は海浜堆積物 (B2)，海岸線に最も近い 2 地点 (S05, S13) の最上部，より内陸の 2 地点 (S22, S24) の表層付近のサンプルを含んでいた。D 群は最も大きいグループで，津波堆積物のみで構成されていた。地点 S24 の中部と上部のほとんどのサンプル，海岸線に近い S05, S13, S22 の最上部，あるいは地表付近の堆積物を含んでいた。E 群は横断線沿いの最も内陸側の地点 (S44, S60, S72, S84) の土壌サンプル，地点 S60, S72, S84 の津波堆積物，地点 S44 の最下部と表面のサンプルを含んでいた。また，地点 S34 の地表付近のサンプル，地点 S13 の 1 サンプルも含んでいた。F 群は海岸線から 1.7km 内陸の地点 S34, 2.3km 内陸の地点 S44 のサンプル，地点 S34 の地表付近以外の土壌サンプルと津波堆積物，地点 S44 の最上部，最下部を除く津波堆積物を含んでいた。

4.4 津波堆積物内の重鉍物の水平方向，垂直方向の変化

津波堆積物中だけでなく，その下の津波前の土壌，堆積物においても，研究対象とした粒度成分では，明らかに内陸に向かって重鉍物が減少し，より軽い鉍物が増えた (Fig. 3)。津波堆積物中の重鉍物含有量は，海岸線に近い地点 (S05) から浸水限界の地点 (S84) に向かって，42%から 10.2%へ減少，津波前の土壌では，同地点間で 46.5%から 7.4%へ減少した。しかし，津波堆積物内の，鉍物組成の変化の水平方向の傾向は明瞭ではなかった。主な違いは，クラスター分析の結果に表れ (Fig. 4)，1.5km より内陸の地点のサンプル中の斜方輝石の含有量の増加に関係する。

津波堆積物中の重鉍物含有量と組成の垂直方向の変化は，比較的小さく，地点ごとに多様である。例えば，あるサンプルでは，重鉍物含有量は上方に向かって減少し，(黒雲母を含む) 副次的な鉍物は津波堆積物の上部によく見られた (Fig. 3)。しかし，サンプルを 1cm 毎に分析し，詳細に調べた地点 S24 では，そのような傾向は見られなかった (Fig. 5)。(S13, S22 などの) 上方細粒化は，重鉍物粒子の減少と対応しているが，(S24 などの) ほかの地点はそうではない。重鉍物組成の垂直方向の変化は，堆積物の供給源の違いによって説明できるものがある。例えば地点 S24 において，クラスター分析で津波堆積物の特定の資料と堆積物の供給源 (海浜とその土地の土壌) との類似性が調べられたところでは，重鉍物組成の垂直変化は堆積物の供給源の違いで説明できる。その結果，津波堆積物の下部 (少なくとも 5cm) はその土地の土壌に似ており，一方上部は海浜の堆積物に似ていることが分かった。

5. Discussion

5.1 「津波プロキシ」としての重鉍物

仙台平野の東北沖津波堆積物の重鉱物含有量と組成は、東北部の三沢海岸のものと似ていた (Nakamura et al., in press, this issue). しかし、その下にある土壌や堆積物との明らかな違いは認められなかった。したがって、今回の場合、重鉱物は「津波プロキシ」とはならず、津波堆積物とその他の堆積物を区別する指標には使えなかった。

それには、主に2つの原因がある。1つ目は、重鉱物組成はその供給源に依存しているからだ。もし、津波堆積物が外（沖浜堆積物など）からの供給がない場合、今回がそうであるが、津波堆積物とその供給源である沿岸堆積物との間では、明らかな違いは見られないだろう。例えば、タイにおける2004年インド洋津波の堆積物の場合、沖浜由来の堆積物が微化石の研究 (e.g. Hawkes et al., 2007; Kokociński et al., 2009; Sawai et al., 2009) によって発見され、津波堆積物の鉱物組成の固有性へも影響を与えていた (Jagodziński et al., 2009)。2つ目の原因は、堆積物の輸送や堆積過程における、重鉱物の分別された可能性に関係するものであった。重鉱物は、様々な密度を持つので、密度による分級の影響を受けやすい可能性が高い。しかし、今回の研究では、主要な鉱物（斜方輝石、単斜輝石、角閃石）はほぼ同じ密度であり、平板状の形態の雲母 (e.g. Doyle et al., 1968) のように分級されやすい鉱物は堆積物中にあまり見られなかった。

一般的に「津波プロキシ」としての重鉱物は、他のより一般的な指標と結びつけて、証拠を裏付けするためにのみよく使われるが、特定の環境下では、津波や、それを特徴づける指標として役に立つかもしれない。

5.2 津波堆積物の供給源

重鉱物分析は、堆積物の供給源に関する研究に非常に有用である (Mange and Wright, 2007)。しかし、鉱物は通常ある特定の粒度 (0.125~0.25mm) を分析するので、その結果は泥などの他の成分に関しては妥当ではないかもしれない。今回の研究では、砂丘や水田を覆う津波前の土壌のサンプルや、海浜のサンプルについて、津波堆積物の供給源である可能性を調べた。重鉱物の総含有量と組成の分析は、津波堆積物のほとんどはそれらが供給源であることを示した。それらは同じ鉱物を含み、濃度も似ていた。さらに、統計解析 (Fig. 4) は、海岸線から1.5km以内の地点での津波堆積物の細粒砂は、海浜、砂丘、その土地の土壌を浸食したものが供給源である可能性が高いことを示唆した。また、1.5kmより内陸の地点では、同じエリアの土壌が浸食されたものが供給源となっていることも示唆していた。

重鉱物分析の結果は、津波は沖浜の堆積物を内陸に大量には運搬しないことを示唆した。この説はほかの証拠によっても支持される。我々が研究した横断線の沖浜 (10km 沖合の深度30mの地点) の堆積物は、主に砂質泥と泥質砂から成り (Saito, 1989)、我々が研究した仙台平野の横断線沿いの津波堆積物の組成とは異なる (Szczuciński et al., 2012, this issue)。横断線沿いの津波堆積物の微化石分析 (有孔虫、珪藻、ナンノ化石) もまた、堆積物の主な供給源は海浜と陸上に限られていることを示唆している (Palarczyk et al., 2012,

this issue: Szczuciński et al., in press, this issue). 典型的な有孔虫やナノリス, 貝やその破片も津波堆積物中に見られないか, 極めて少なく (Pilarczyk et al, 2012, this issue; Szczuciński et al., 2012, this issue), 珪藻は淡水生と汽水生の種が見られた (Szczuciński et al., 2012, this issue). Sugawara and Goto (2012, this issue) の津波モデルによると, 津波により沖から運搬される水と堆積物は海岸の海底の斜面でかなりはねかえされるので, なぜ陸地にあふれた水が沖浜の堆積物をあまり含んでいないかが, これによって説明できる. 泥質堆積物中の安定同位体比データ ($\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$) や C/N 比は, 津波堆積物は陸地と海洋の有機物の混合であることを示すが, 海洋の有機物の寄与は定量化できなかった (Chagué-Goff et al., 2011, this issue). したがって, 東北沖津波が仙台平野にもたらした堆積物は, 主に海浜や陸地を侵食したものが供給源である可能性が非常に高く, このことは重鉍物分析によっても支持される.

5.3 堆積物の運搬と堆積過程

重鉍物の種類は相対的に少ないが, より詳細な分析により, 津波による堆積物の運搬と堆積過程に関するいくつかの知見が得られた. 例を, 地点 S24 を用いて示す (Fig. 5). 津波堆積物の下部の重鉍物の組成は, その地点の津波前の堆積物と似ていた. このことは, 津波は堆積物を浸食し, 堆積させるまで, 短い距離しか運搬していないことを示している. 津波堆積物のこの部分は, 上方粗粒化シーケンスで特徴づけられ, これはトラクションカーペットの運搬と堆積の効果としばしば解釈される (e.g. Moore et al., 2011). これらのデータは, 津波堆積物の最下部から数 cm は, その土地を浸食し, トラクションによる運搬, そして堆積によってもたらされたことを示唆する. 一方で, 津波堆積物の上部の重鉍物のデータは, 他の供給源からの堆積物もまた, 堆積することを明らかにした. 他の地点 (e.g. S05, S13 : Fig. 4 参照) の結果は, これほど詳細には分析していないが, 類似したシナリオを示した.

5.4 2004 年インド洋津波と東北沖津波の堆積物中の重鉍物の比較

2004 年インド洋津波がもたらしたタイのコーカオ島の津波堆積物中の重鉍物と同じ方法 (Jagodziński et al., 2009) を用いて, 東北沖津波がもたらした堆積物の分析も行った. 類似点と相違点を調べるために比較を行った (Table 2). 重鉍物含有量と組成は研究の事例によって, かなり異なる. 2004 年インド洋津波の津波堆積物は, 重鉍物を 1.7% 以下しか含まず, その 99% が電気石, 雲母, 褐鉄鉍, ジルコン, 不透明鉍物で占められていた. 東北沖津波の津波堆積物は, 平均 35% の重鉍物を含み, それは角閃石, 輝石, 不透明鉍物からなる. 2004 年インド洋津波の津波堆積物の重鉍物の組成は, 海浜の堆積物や津波前の土壌とは異なり, ある程度沖浜起源の堆積物が含まれていた. さらに, 重鉍物組成の垂直方向の変化が観察され, 特に平板状の雲母に特定の波による懸濁流からの堆積を反映する. 東北沖津波の津波堆積物中の重鉍物の組成は, 海浜の堆積物, 津波前の土壌と大きな違いは

なく、沖浜堆積物の寄与もわずかであった。

この単純な比較により、津波堆積物中の重鉍物は供給源に依存していることと、津波堆積物調査に有効な方法となり得るかもしれないことが明らかになった。しかし、その解釈は、現地の地質環境に依存し、他の「津波プロキシ」による補強を必要とする。ある1個の大きな重鉍物の粒子が、小さな重鉍物の濃度よりも意味を持ち、多くの情報が得られるわけではない。

6. Conclusion

2011年東北沖津波が仙台平野にもたらした堆積物は、重鉍物を多く含む細粒砂を伴う砂と泥であった。しかし、重鉍物の含有量と組成は、津波堆積物が海岸平野起源なのか、海浜の堆積物起源なのかを区別することはできなかった。これは、沖浜の堆積物の寄与がなにか、もしくは極めて限定的だったからだと思われる。このことは巨大津波でさえも沖浜の堆積物の痕跡を陸地に残さない可能性を示している。

津波堆積物の研究への重鉍物分析の適用は、現地の地質環境に制限される。重鉍物分析が津波堆積物やその堆積過程を識別するのに役に立つ場合もあるかもしれない。確かに、津波堆積物の解釈や、堆積物の供給源や津波の間の変化を調べるための付加的な指標としては有用である。

北村晃寿・内田絢也