

1 Soria, J. L. A., Switzer, A. D., Pilarczyk, J. E., Siringan, F. P., Khan, N. S.,
2 Fritz, H. M. 2017. Typhoon Haiyan overwash sediments from Leyte Gulf coastlines
3 show local spatial variations with hybrid storm and tsunami signatures.
4 *Sedimentary Geology*, 358, 121-138.

5
6 レイテ湾の海岸線からの台風 Haiyan のオーバーウォッシュ堆積物の示す暴風雨と津波堆
7 積物の両方に共通した特徴とその地域的变化

9 Abstract

10 2013年の台風 Haiyan の5~8mの高潮に伴う海の浸水により、フィリピンのレイテ湾の
11 北西海岸の海岸平野の内陸にオーバーウォッシュ堆積物が残った。Haiyan のオーバーウォ
12 ッシュ堆積物は、カテゴリー5の台風の上陸による高潮堆積物の現世の堆積記録を示す。
13 我々は、同様の高潮条件を経験した対照的な堆積学的領域、すなわち珪質碎屑物の海岸、
14 珪質碎屑物と炭酸塩の混合する海岸の2つの場所でオーバーウォッシュ堆積物を研究した。
15 対照的な局地的地質は、2つのサイトでの堆積物の粒径、組成、淘汰の違いに大きく反映
16 されている。Haiyan のオーバーウォッシュ堆積物は主に砂とシルトであり、最大 1.6 km
17 内陸まで追跡でき、以前に報告された内陸 300m までの堆積限界をはるかに超えている。同
18 様の地質・地形起伏・陸上での流水条件を備えたサイトは、堆積物の厚さと内陸の範囲に
19 著しい空間的変異性を示す。地形や植生のタイプの小規模な違いなどの他の局地的要因は、
20 オーバーウォッシュ堆積物の空間分布に影響を与える可能性があると推測する。Haiyan の
21 オーバーウォッシュ堆積物は、平行層理、上方粗粒化シーケンス、系統的ではない内陸へ
22 の細粒化傾向、下位層との明瞭な堆積性（まれに侵食性）境界である。全体的に、Haiyan
23 堆積物は、暴風雨と津波堆積物の両方に共通した堆積学および層序学的特徴を有してい
24 る。

26 1. はじめに

27 サイクロン上陸時の高潮によるオーバーウォッシュは、沿岸の堆積物を再堆積、侵食
28 し、海岸低地に運搬することが良くある(e.g., Leatherman, 1981; Morton and
29 Sallenger, 2003; Williams and Flanagan, 2009)。オーバーウォッシュ堆積物は、一般
30 に、沿岸湖、湿地、バリアー島の後背の干潟を含む低エネルギーの沿岸環境の堆積環境に
31 見られる異常な砂層として認識されている(e.g., Leatherman and Williams, 1977; Liu
32 and Fearn, 1993; Buynevich *et al.*, 2004; Donnelly *et al.*, 2004)。オーバーウォッ

33 シュ作用は、後浜環境にも堆積地形を形成する。砂丘または浜堤の高さに対する水位の高
34 さ、および前置砂丘のギャップの範囲と連続性により、オーバーウォッシュはウォッシュ
35 オーバーファンを作り、これは孤立している場合もあれば結合してウォッシュオーバーテ
36 ラスの形状を作ることもある (Morton and Sallenger, 2003).

37 同様に、津波もオーバーウォッシュとそれに伴う堆積物を形成する。津波の流体力学的
38 挙動は、遡上流の流速、波浪効果による潮位上昇、波の周期および内陸の範囲に関して、
39 高潮の流体力学的挙動とは明らかに異なるにもかかわらず (e.g., Switzer and Jones,
40 2008; Goto *et al.*, 2009; Watanabe *et al.*, 2017), 関連するオーバーウォッシュ堆積物
41 はしばしば同様の堆積学的特性を示す (e.g., Kortekaas, 2002; Kortekaas and Dawson,
42 2007; Switzer and Jones, 2008). しかし、いくつかのケースでは、堆積学、微化石、地
43 球化学、考古学、古生態学を使用したマルチプロキシアプローチが、地質記録の中の津波
44 と嵐の堆積物の区別に成功している (e.g., Nanayama *et al.*, 2000; Goff *et al.*, 2004;
45 Kortekaas and Dawson, 2007; Morton *et al.*, 2007; Ramirez-Herrera *et al.*, 2012).
46 堆積物を特に嵐と津波の間の特定のイベントタイプに帰属させるには、流体力学的プロセ
47 ス、オーバーウォッシュの堆積パターンを決定する局所的条件、および堆積後の保存の間
48 にある複雑な相互作用を慎重に考慮する必要がある (e.g., Switzer and Jones, 2008;
49 Otvos, 2011).

50 台風Haiyanのオーバーウォッシュ堆積物 (Table 1) は、段波状の高潮を伴う強烈な上
51 陸したサイクロンの希少な現世の堆積記録を表す。2013年11月8日、台風Haiyan (Fig.
52 1) は、ハリケーンKatrina, Rita, Ike, サイクロン Yasiなど、他の最近の強烈な嵐と同
53 様の流れの深さと浸水距離の高潮を引き起こした (Table 2). 特に、台風Haiyanの津波
54 (ボア) のような高潮は、より一般的に報告されている同様の暴風雨に伴う緩やかな上昇
55 と長期の浸水と比較して異常である (Mikami *et al.*, 2016). Haiyanの高潮の深くかつ高
56 速の流れと短い浸水期間は、津波の流体力学的挙動に一般的に見られる挙動である
57 (e.g., Morton *et al.*, 2007; Switzer and Jones, 2008) (Tables 3-5). 台風Haiyan
58 に伴う堆積物は現世の暴風雨の堆積物 (より高頻度で発生する高潮はより長い継続期間を
59 持つ洪水で特徴づけられる) とは対照的である (Table 2).

60 本研究では、対照的な地形的起伏と堆積学的領域である近い場所にある2つの海岸平野
61 (Fig. 2a)に及ぶ台風 Haiyan の高潮から生じたオーバーウォッシュ堆積物の物理堆積学
62 的特徴を記載する。バセイ海岸は、隆起した炭酸塩プラットフォームと珪質碎屑物と炭酸
63 塩が混合した堆積物からなる狭いビーチを特徴とする不規則な地形である。対照的に、タ
64 ナウアンの特徴は、珪質碎屑物の堆積物からなる広大で平坦な海岸平野 (標高 3 m 未満)

65 である。同様の高潮の特徴を経験した 2 つの近いサイトから Haiyan オーバーウォッシュ
66 堆積物を調査することにより、局地的地形と地質が、オーバーウォッシュ堆積物の物理堆
67 積学と空間分布をコントロールする主因かどうかを評価できる。さらに、Haiyan のオーバ
68 ーウォッシュ堆積物を、ハリケーン Katrina, Rita, Ike, Yasi (Table 2)などの最近の
69 嵐によるものと、2011年東北、2006年西ジャワ、2004年インド洋などの津波 (Tables 3-
70 5)と比較し、Haiyan 堆積物の物理的特性と分布に対する段波状の浸水の影響を決定する。
71

72 2. 台風 Haiyan

73 台風Haiyanは、地元でYolandaとして知られており、レイテ島に上陸した時、サファ・
74 シンプソン・ハリケーン・スケールによるとカテゴリー5の台風だった (Fig. 1)。台風
75 Haiyanは、世界の上陸した嵐において最も強烈で最も速く移動する嵐としてランク付けさ
76 れている (Lin *et al.*, 2014; Takagi and Esteban, 2016)。レイテ湾のサンペドロ湾周
77 辺地域では、高い高潮と高波の重なりにより、台風Haiyanで最も広範囲のインフラ被害と
78 最大の死亡者数が発生した (e.g., Morgerman, 2014; Tajima *et al.*, 2014; Mas *et*
79 *al.*, 2015)。サンペドロ湾の高潮は、最初に、2mの海面低下を起し、湾の北岸沿いの緩
80 傾斜の亜潮間帯の砂地が広く露出した (Soria *et al.*, 2016)。台風Haiyanがレイテ島に
81 上陸した直後、高さ5 mを超える急速に移動する水の壁として、高潮が陸に向かって急速
82 に来た (Supplementary Fig. S1)。波の寄与により、タクロバンとパロで最高水位が約 8
83 mに上昇した (Soria *et al.*, 2016)。ピークの水位は30分~45分間続き、その後1時間~2
84 時間以内に水が引いた (e.g., Morgerman, 2014; Soria *et al.*, 2016)。裏付けされた生
85 存者の証言と高潮シミュレーションに基づくと、浸水の継続時間は短かったが、3度の波
86 浪効果による潮位上昇があった (Soria *et al.*, 2016)。サンペドロ湾の北岸では、バセ
87 イの高潮の浸水は約800 m内陸に達し、タナウアン近くの西海岸では、最大2 km内陸に洪
88 水が達した。海岸の浸水は、海岸侵食や内陸の堆積を含む海岸線の変化を引き起こした
89 (Supplementary Figs. S2-S4)。台風Haiyanの後の海岸の洗掘と露出した木の根は、レイ
90 テ湾周辺のいくつかの場所での海岸侵食を明確に示す (Supplementary Figs. S3a-c,
91 S4a-b)。一方、タナウアン海岸に沿って形成されたウォッシュオーバーテラスは、内陸の
92 堆積を示す (Supplementary Fig. S2b-c)。
93

94 3. 調査地域

95 サンペドロ湾は、幅 20 km、長さ 25 km の入江で、南にある広いレイテ湾に向かって開
96 いている (Fig. 1 inset)。北西に向かって、サンペドロ湾は狭くなり、レイテ島とサマ

97 ール島を隔てるサン・ファニーコ海峡となる。サンペドロ湾は比較的浅く（最大水深～20m、
98 平均水深～10 m）、潮差は0.5 mである（PMSL, 2016）。

99 我々は、対照的な海岸と地質を示すサンペドロ湾の2つの場所に研究の焦点を当てた
100 (Fig. 2a)。漸新世から中新世の石灰岩の不規則で急傾斜なカルスト地形（Aurelio and
101 Peña, 2002）は、バセイ地域のサンペドロ湾の北と東の海岸に見られる（Fig. 2a, c）。こ
102 こでは、岩だらけの石灰岩の岬が、小さな入江を砂浜のポケットビーチで囲み、狭い裾礁
103 に囲まれている（Fig. 2c）。一方、タクロバンとタナウアンの間にあるレイテ島の西海岸
104 は、浜堤、砂嘴、マングローブ林のパッチからなる広くて低い標高（3 m未満）の海岸平
105 野が特徴である（Fig. 2d）。海岸平野は主に、未固結の珪質碎屑物からなり、それらは遠
106 洋性堆積シーケンスで覆われた白亜紀の超苦鉄質-苦鉄質火成岩と、中新世から鮮新世火
107 山のセンターと堆積岩のパッチからなる内陸の高地から供給された（Aurelio and Peña,
108 2002; Suerte *et al.*, 2005）。

109

110 4. 方法

111 4.1. トランセクトスケールでのサンプリング

112 台風 Haiyan の堆積物の内陸分布は、2014年1月にサンペドロ湾の海岸線に沿って、対
113 照的な堆積領域を有する2つの場所の4つのトランセクトに沿ってマッピングされた（Fig.
114 2a）。1つのトランセクト（Ba）は、バセイの炭酸塩と珪質碎屑物の混合する海岸に位置し
115 （Fig. 2c）、3つのトランセクト（Sc, So, Ma）は、タナウアンの珪質碎屑物の海岸に位置
116 した（Fig. 2d）。各トランセクトは海岸から Haiyan 堆積物の内陸限界まで伸び、内陸範囲
117 はバセイの400 mからタナウアンの1.8 kmまで異なった。トランセクトは、*Nypa fruticans*
118 （マングローブ植物のヤシ）の群生、草原のパッチ、ココナッツ畑、および水田を含む、
119 後浜環境をカバーした。ハンドガウジオーガーを使って深さ約20 cmまで、またはショベル
120 を使って深さ約10 cmまで、各トランセクトに沿って Haiyan 堆積物を採取した。合計
121 44のサイトでサンプルを採取し、台風 Haiyan 堆積物から1つの堆積物サンプルを、下層
122 の土壌から1つのサンプル（So 1-6では採取していない）を採取した。携帯GPSを用いて
123 すべての採取場所をマークし、嵐の後の海洋作用の影響が最小限に抑えられた後浜環境の
124 オーバーウォッシュ堆積物に研究の焦点を当てた。我々の調査は、アクセス可能で、台風
125 Haiyan 後の回収作業と復興活動による影響が最小限の地域に限定されたため、採取場所は
126 パッチ状となり、等間隔ではない。トランセクトは、Pilarczyk *et al.* (2016)の微古生物
127 学的研究で定義されたトランセクトに対応している。台風 Haiyan のオーバーウォッシュ
128 堆積物に含まれる微古生物群集に基づいて、Pilarczyk *et al.* (2016)は、Haiyan 堆積物の

129 沿岸から沖浜への堆積物の供給源を証明した.

130

131 4.2. トレンチスケールでのサンプリング

132 Haiyan堆積物の堆積学的特徴の詳細な記述については、2014年5月に追跡調査が行われ
133 た。台風Haiyan後の衛星画像で特定された砂地の地形の終端から約100m 陸側 (Fig.
134 S2b, c) にかけて、海岸に垂直な2つのトランセクトで7つの浅いトレンチの列が掘削され
135 た (Fig. 2b)。トレンチは、最初の調査の時点で約50 cmの深さの水を溜めていたトラン
136 セクトMa付近の浅い草に覆われた低地に位置していた (Fig. 2b)。トレンチサンプルは、
137 トランセクトMaに沿ってオーガーを使用して採取したサンプルと区別するためにMPとラベ
138 ル付けされた。トレンチの深さは地下水面の位置に応じて異なり、地表から25~50 cmの
139 範囲だった。各トレンチで、Haiyan堆積物の厚さ、下位にある地面との境界の性状、葉理
140 または級化成層などの堆積構造に注目した。Haiyan堆積物とHaiyan以前の土壌からのサン
141 プルは、その後の堆積学的分析のために2cm間隔で採取された。

142

143 4.3. 測量

144 BluetoothによってLasercraft XLRicレーザー距離計に接続されたTrimble 社のディフ
145 ァレンシャルGPSを使用して、2014年1月のHaiyan最高水位線の調査 (Soria *et al.*, 2016)
146 と合わせて、すべてのサンプルサイトを調査し、トランセクトに沿った地形の標高を決定
147 した (Fritz *et al.*, 2012; Soria *et al.*, 2016)。標高の測定値は、local Ashtech™ 基
148 点に対して毎日セットアップし差分補正され、Flater (1998) のオープンソースソフトウ
149 ェアXTide 2^oによって提供された潮汐予測に基づいて、調査時の潮位が補正された。調査
150 中にタクロバン港の台風被害を受けた検潮所を訪問し、基準点を調査して、現地の検潮所
151 での平均海面と垂直基準面を補正した。タクロバン港の潮汐記録は、フィリピン共和国の
152 National Mapping and Resources Information Agency (NAMRIA) によって提供された。

153 「後処理され差分補正された位置」と「標高の測定値」のMSLに対するそれぞれの信頼度
154 は±0.1 mである。

155

156 4.4. 堆積学的分析

157 4.4.1. 有機物および炭酸塩含有率

158 約 1~2 g の堆積物を各サンプルからサブサンプリングし、強熱減量法に従って有機物
159 と炭酸塩含有率の両方を決定した (Dean, 1974; Heiri *et al.*, 2001)。堆積物をあらかじめ
160 重量測定したセラミックのるつぼに入れ、105°Cのオーブンで最大 2 時間乾燥させた

161 (Dean, 1974). サンプルとるつぼを室温まで冷却し、次に重量を量って堆積物の初期乾燥
162 重量を得た。るつぼ内のサンプルはマッフル炉で連続的に加熱され、最初は 550°C で 4 時
163 間で有機物を燃焼させ、次に 950°C で 1 時間、炭酸塩を燃焼させた (Heiri *et al.*, 2001).
164 各加熱段階の後、サンプルを室温まで冷却し、重量を測定した。初期乾燥重量からの各加
165 熱段階で減った重量が、有機物含有率と炭酸塩含有率となる。Heiri *et al.* (2001) の計算
166 に従って、有機物と炭酸塩成分の相対量を決定した。

167

168 4.4.2. 粒度分布

169 サンプルの堆積物の粒度分布を決定するために、同様の粒度測定の方法を持つ異なる
170 2つの光学的手法を用いた。粒度比較表を使用して視覚で粒度の最頻値と最大粒径を決定
171 した後、細粒堆積物（直径 2 mm 未満）を Malvern Mastersizer 2000 でレーザー回折式粒
172 径分析を行ない、粗粒堆積物（直径 2 mm 以上）は Retsch Technology Camsizer® を使用し
173 た画像解析で行った。Camsizer は、画像内の粒子の断面積を粒子サイズとして測定でき、
174 同面積の円の直径として粒径を報告するもので、これはレーザー粒子分析器の粒径測定
175 の原理と同じである (Switzer and Pile, 2015)。4つのトランセクト (Ba, Sc, So, Ma) か
176 ら採取したすべてのサンプル、3つのトレンチ (MP 1, 2, 5) から採取したすべてのサン
177 プル、および4つのトレンチ (MP 3, 4, 6, 7) の Haiyan 以前の土壌サンプルを含む、主
178 に泥から細粒砂からなる合計 141 個のサンプルは Malvern Mastersizer を使用して分析し
179 た。一方、主に砂と細礫を含むトレンチ MP3, MP4, MP6, および MP7 からの台風 Haiyan 堆
180 積物の 28 個のサンプルは、Camsizer を使用して分析した。Malvern Mastersizer に入れた
181 サンプルの場合、約 1 g の堆積物を 15% H₂O₂ で処理して有機物を除去し、10% の塩酸 (HCl)
182 で炭酸塩の破片を除去した。レーザー回折を使用した粒度分析を行う前に、サンプルを蒸
183 留水ですすいだ。

184 Camsizer を使用して分析された粗粒砂の台風 Haiyan 堆積物の場合、肉眼で見ることが
185 できるほどの大きさの有機破片と炭酸塩の破片は、化学物質で溶解する代わりにピンセッ
186 トを用いて手作業で除去した。堆積物を蒸留水ですすいで塩分を除去し、堆積物の分散を
187 促進した。続いて、堆積物を 50°C のオーブンで乾燥させ、約 50~100 g の乾燥したサブサ
188 ンプルを Retsch Technology CAMSIZER® に入れ、粒度分析を行った。バセイの珪質碎屑物
189 と炭酸塩の混合した堆積物（すなわち、強熱減量 > 10% 炭酸塩）は HCl で処理しなかつたこ
190 とに注意する。酸処理は、本来の堆積物全体の組成を変えてしまい、炭酸塩粒子を優先的
191 に除去することで、バックグラウンドの土壌からのオーバーウォッシュ堆積物の識別に通常
192 使用される粒度測定のパラメーターに人為的な影響をもたらす可能性がある (e. g.,

193 Szczuciński et al., 2012; Gouramanis *et al.*, 2017).

194 粒度データは、統計的粒度分布を作るために、オープンソースプログラム GRADISTAT
195 version 8.0 (Blott and Pye, 2001)を用いて一括して処理した。各サイズのカテゴリ内の
196 堆積物の割合（例えば、粘土、極粗粒シルト、中粒砂）とともに、各サンプルの対数(Folk
197 and Ward, 1957)の平均値、中央値、モード、淘汰、および歪度を用いて、Haiyan 堆積物
198 の垂直変化と空間的变化を示した。すべての堆積物分布の結果は、Supplementary Tables
199 S1-S11 に記載されている。

200

201 5. 結果

202 5.1. バセイの Haiyan オーバーウォッシュ堆積物

203 フィールドでは、バセイの Haiyan オーバーウォッシュ堆積物は色によって Haiyan 以前
204 の土壌と区別された。オーバーウォッシュ堆積物とその下層との層序の境界の顕著さは、
205 沿岸環境と海岸からの距離に応じて変化した。海岸から 200 m 以内のココナッツ林の
206 Haiyan 堆積物は灰色 (10YR 6/1) であり、その下にある Haiyan 以前の土壌は非常に濃い
207 灰色 (10YR 3/1) で、有機物に富み、粒度はより細かい(Fig. 3a)。ココナッツ林では、
208 Haiyan 堆積物と下層の土壌との境界の性状は、大体は明瞭で、非常に顕著だった。水田の
209 中でより内陸では、灰色 (10YR 5/1) の Haiyan 堆積物の下の農業土壌は、まだらな灰色
210 (10YR5 / 1) と茶色 (10YR 4/3) で、層序の境界はあまり識別できない。

211 我々は、堆積物の厚さ、粒径、淘汰、歪度、および組成の空間的变化を観察した (Fig.
212 4)。Haiyan のオーバーウォッシュ堆積物は、シルトから細粒砂で構成され、海岸から 350m
213 近くの海岸平野のビーチバーム、ココナッツ林、水田を覆っている (Fig. 4i)。最も厚い
214 堆積物は 8 cm で、海岸から 30 m のところで発見された (Fig. 4ii)。Haiyan 堆積物は海岸
215 線の陸側で急速に薄くなり、厚さは 1~4 cm まで変化する。内陸より遠い水田に堆積した
216 堆積物はシルトサイズ(Fig. 4iii)、非常に不十分な淘汰 ($>2\phi$, Fig. 4iv)、粗粒側への
217 歪度 ($-0.1\sim 0.1\phi$ Fig. 4v) であるのに対し、Ba15 と Ba13 を除く、バームとココナッツ
218 林に堆積した Haiyan 堆積物は、より粗く (極細粒砂から中粒砂, Fig. 4iii)、淘汰が良く
219 ($1\sim 2\phi$, Fig. 4iv)、より細粒側への歪度 ($0.1\sim 0.6\phi$, Fig. 4v) である。サンプル Ba8
220 を除き、沿岸に近い堆積物にも~10%の有機物が含まれていた一方で、水田の堆積物には
221 15~20%の有機物が含まれていた (Fig. 4vi)。海岸から約 200m 以内の台風 Haiyan 堆積物
222 には $>10\%$ の炭酸塩が含まれているが、200m を超える堆積物には一貫して~3%から 8%
223 の範囲の少量の炭酸塩しか含んでいない (Fig. 4vii)。

224

225 5.2. タナウアンの Haiyan オーバーウォッシュ堆積物

226 5.2.1. トランセクトスケールでの調査

227 バセイと同様に、タナウアンの Haiyan オーバーウォッシュ堆積物と Haiyan 以前の土壌
228 との層序境界は色で定義されるが、その顕著さの程度はかなり異なる。海岸の 200 m 以内
229 の *Nypa* 森林と草むらでは、Haiyan オーバーウォッシュ堆積物と下層の土壌との境界は顕
230 著だった (Fig. 3c)。Haiyan のオーバーウォッシュ堆積物は灰色 (10YR 5/1) で、一方、
231 Haiyan 以前の土壌の非常に濃い茶色 (10YR 2/2) とは明らかに異なり、土壌は「埋もれて
232 はいるが直立した草」あるいは根の破片をよく含む。一方で、海辺から >400 m の水田で
233 は、Haiyan オーバーウォッシュ堆積物と下層の農業土壌との境界が漸移的であり、台風後
234 の急速な植生の成長により不明瞭になり始めた (Fig. 3d)。

235 タナウアンの珪質碎屑物の海岸の Haiyan オーバーウォッシュ堆積物は、顕著な空間的
236 変化を示すが、必ずしも系統的な傾向を示すわけではない (Fig. 5a-c)。各トランセクト
237 (Sc, So, および Ma) に沿って、Haiyan 堆積物の厚さは様々であり、5~7 cm の最も厚い
238 堆積物は、マングローブ林内の水路 (*Nypa* 森林) や海岸から 200~400m のくぼ地 (浅い池)
239 などの低地で一貫して見つかった (Fig. 5a-c, ii)。これらの厚い Haiyan 堆積物は主に灰
240 色で、中程度から良い淘汰度 (Fig. 5a-c, iv) で、細粒砂 (3 ϕ) から粗粒砂 (1 ϕ) (Fig.
241 5a-c, iii)、有機物量が少なく (<10%; Fig. 5a-c, vi)、炭酸塩 (<1%; Fig. 5a-c, vii)
242 も少ない。500 m~1.6 km 内陸では、平均粒径がシルト (5 ϕ) から極細粒砂 (4 ϕ) の範
243 囲の 1~3cm の厚さの堆積物で水田は覆われている (Fig. 5a-c, ii)。水田内の微地形の窪
244 地は、Ma10 に異常に厚い (8cm) Haiyan 堆積物をもたらした。総じて、海岸 400 m 以内の
245 Haiyan 砂層は、明らかにより粗粒 (1~3 ϕ) で、より良く淘汰 (図 5a~c, iv) され、<
246 10% の有機物を含む。これは、海岸から 400 m 以上で発見されたオーバーウォッシュ堆積
247 物とは対照的である (Fig. 5a-c, iii-iv)。

248 Table 1 は、我々のトランセクトで観察された Haiyan オーバーウォッシュ堆積物と、近
249 くの沿岸地域で Abe *et al.* (2015) と Brill *et al.* (2016) によって記述された以前のト
250 ランセクトとの比較概要を示す。平行葉理、複数の粗粒化および細粒化シーケンスの累重
251 などの堆積学的特徴は、全サイトで共通である。しかし、Haiyan 堆積物の内陸範囲は明ら
252 かに異なる。タナウアンとトロサの Haiyan 砂層は、>100m (Abe *et al.*, 2015) から 250m
253 内陸 (Brill *et al.*, 2016) に達した。我々が Haiyan オーバーウォッシュ堆積物をマッピ
254 ングしたところ、さらに内陸に広がり、900 m (トランセクト Sc) から海岸から 1.6 km (ト
255 ランセクト So, Ma) に達していることがわかった。

256

257 5.2.2. トレンチスケールでの調査

258 トレンチ MP4 と MP7 は、Haiyan 以前の土壌の上には 2 つの異なる堆積ユニットがある。
259 トレンチ MP4 では、ユニット 1 は厚さ約 10 cm 以下の黒く、マグネタイトに富む中粒砂 (1
260 $\sim 2\phi$) の堆積物で、上方粗粒化する (Fig. 6). ユニット 1 の砂は適度に淘汰され、淘汰
261 度は $\sim 0.75\phi$ のままである (Fig. 6c). トレンチ MP7 の海岸線と直交な壁では、マグネタ
262 イトに富むユニット 1 の砂の中の薄い平行葉理が観察された (Fig. 7a). 一方、海岸線と
263 平行なトレンチ壁では平行葉理は波状に見える (Fig. 7b). ユニット 1 のマグネタイトに
264 富む砂は、ユニット 2 の厚さ 12 cm で淡灰色粗粒砂 ($-1\sim 0\phi$) で覆われる (Figs. 6a-b,
265 7a-c). 2 つの堆積物ユニット間の境界は、侵食境界である MP7 を除くと、非常に明瞭で整
266 合的である (Fig. 7b). ユニット 2 の底面は、上方細粒化傾向を示す礫サイズの堆積物が比
267 較的密集する特徴がある (Fig. 6c). 地表から 5 cm では、下部は細粒化シーケンスで、上
268 部は粗粒化シーケンスである. 対照的に、トレンチ MP7 の級化成層は、トレンチ MP4 ほど
269 複雑ではない. Fig. 7d は、MP7 での全堆積物の平均粒径を示し、これは単一で一貫した上
270 方粗粒化シーケンスを示す. 粒径の上方粗粒化傾向にもかかわらず、淘汰は均一のままで、
271 シーケンス全体は中程度に淘汰された堆積物からなる (Figs. 6c, 7d). 葉理が発達し、マ
272 グネタイトに富む基底ユニット (ユニット 1) は、海岸から 50 m 以上は続かなかった. 内
273 陸のトレンチ MP6 と MP1 は、より薄い Haiyan 堆積物で、灰色 (10YR 5/1) で、より海側の
274 トレンチ MP4 と MP7 のユニット 1 とユニット 2 よりも比較的細粒な中粒砂 ($1.5\sim 2\phi$) か
275 らなる (Fig. 8).

276

277 6. 議論

278 6.1. Haiyan オーバーウォッシュ堆積物の組織と組成の変異性

279 タナウアンとバセイの海岸近くの Haiyan オーバーウォッシュ堆積物は、堆積物の組成、
280 組織、層理に顕著な違いを示す. バセイ (Fig. 4) では、台風 Haiyan 堆積物は一般に、有孔
281 虫や軟体動物とサンゴの破片を含む炭酸塩物質を 5 \sim 24% 含む、塊状で淘汰が悪い細粒砂
282 に特徴付けられる (Pilarczyk *et al.*, 2016). 対照的に、タナウアンの台風 Haiyan 堆積物
283 (Fig. 5) は、3% 以下の非常に低い炭酸塩濃度で、中程度から十分に淘汰された、中粒砂か
284 ら粗粒砂である. 重鉱物は比較的豊富で、層状に堆積している (Figs. 6a, 7a-b). 堆積物
285 内に薄い平行葉理も見られた (Fig. 7a, b).

286 バセイとタナウアンの Haiyan オーバーウォッシュ堆積物の間の炭酸塩含有率の有意な相
287 違は、堆積物の供給源を示す. 炭酸塩堆積物は、バセイの炭酸塩と珪質碎屑物の混合した
288 海岸では容易に入手できるが、タナウアンの珪質碎屑物の海岸では炭酸塩はまれである

289 (Aurelio and Peña, 2002; Suerte *et al.*, 2005). 同様に, Pilarczyk *et al.* (2016)
290 は, 2つの対照的な環境に対応する2つの異なる有孔虫群集を報告した. 5 cm^3 当たりわ
291 ずか5~80の有孔虫を含むタナウアの珪質碎屑物の海岸のオーバーウォッシュ堆積物と
292 比較して, 炭酸塩と珪質碎屑物の混合した海岸のオーバーウォッシュ堆積物は, 著しく高
293 い濃度の石灰質の有孔虫 (5 cm^3 当たり有孔虫45~6320) を含んでいた.

294 しかし, 両方のサイトで, 最も内陸のHaiyanオーバーウォッシュ堆積物は, 粒径, 組
295 織, 組成に共通点を有す(Figs. 4, 5). 堆積物は, 非常に不十分な淘汰で, シルトから極
296 細粒砂で, 10~35%の有機物を多く含んでおり, 炭酸塩は5%未満の低濃度である.
297 Haiyanオーバーウォッシュ堆積物は, 海岸から200 m (バセイ, Fig. 4, ii) から400 m
298 (タナウアン, Fig. 5a-c, ii) の距離までの泥質堆積物の上に, 異常な砂層として見ら
299 れ, それは浸水限界より短い. 200 m (バセイ, Fig. 4, ii) から400 m (タナウアン,
300 Fig. 5a-c, ii) を超えると, 粒度分析では, オーバーウォッシュ堆積物と台風前の堆積
301 層を確実に区別することはない. このように, 「異常な砂層」としてのオーバーウォッシ
302 ュ堆積物の組織の定義は, 特に浸水限界に最も近くで堆積した堆積物物の場合, 必ずしも
303 最適な用語とは限らない. 台風Haiyanの末端堆積物は泥が卓越し, ハリケーンRitaの堆積
304 物に似ている(Williams, 2009). さらに, 海岸に最も近い台風Haiyan堆積物に見られる組
305 織と組成の明確な特徴は, 内陸ではあまり明白ではなかった. 内陸の距離に伴う顕著な堆
306 積学的相違点は, Pilarczyk *et al.* (2016) によって報告された距離に関連した微古生物
307 学的クラスタリングと一致する. 有殻アメーバと小さな有孔虫の濃度は, 海岸近くで発見
308 されたオーバーウォッシュ堆積物と比較して, バセイ (>160 m) とタナウアン (>400
309 m) の内陸のオーバーウォッシュ堆積物で高かった(Pilarczyk *et al.*, 2016).

310

311 6.2. Haiyan オーバーウォッシュ堆積物の堆積パターンの空間的变化

312 タナウアンとバセイのオーバーウォッシュ堆積物のもう1つの顕著な違いは, 内陸の範
313 囲である. タナウアンのトランセクトSc, So, およびMaに沿ったオーバーウォッシュ堆積
314 物は, バセイのトランセクトBaに沿ったオーバーウォッシュ堆積物よりも内陸の到達距離
315 が大きい(Figs. 4, 5). オーバーウォッシュ堆積物の内陸範囲は, 各サイトでの浸水距離
316 に関連している可能性があり, これは主に地形起伏によって支配されている. タナウアン
317 の低地 (1~2 m) の緩傾斜の地形は, 浸水距離を約2 kmに伸ばしたが, オーバーウォッシ
318 ュ堆積物は1.6 kmまでにとどまった (Fig. 5a-c, i-ii). 隆起した炭酸塩プラットフォーム
319 ム (3 m) の比較的不規則な地形とバセイの段丘斜面の水田は, 浸水を内陸800 mまでに留
320 め, オーバーウォッシュ堆積物は内陸350 mまでに達した(Fig. 4, i-ii). 我々は, 両方の

321 サイトで高潮レベルが同じと仮定すると、局地的地形が内陸への浸水距離，したがって堆
322 積物の内陸範囲をかなり支配すると主張する．同様に，ハリケーンIkeからのオーバーウ
323 オッシュ堆積物の範囲と厚さの違いは，サイト固有の地形と高波/波の状態によるものだ
324 った(Williams, 2010; Hawkes and Horton, 2012) (Table 2)．地形に依存した内陸の範
325 囲は，インド洋周辺の海岸に被害をもたらした2004年の津波堆積物でも観察された．2004
326 年のインド洋の津波堆積物は，タイ，インドネシア，インド，スリランカの狭く急なビー
327 チよりも(e.g., Moore *et al.*, 2006; Hawkes *et al.*, 2007; Srinivasalu *et al.*,
328 2007; Morton *et al.*, 2008; Switzer *et al.*, 2012)，タイの広大で低起伏な浜堤海岸に
329 沿って，より広い内陸範囲（最大2 km）に達した(Hori *et al.*, 2007; Jankaew *et al.*,
330 2008)．

331 同様の沿岸環境，地形起伏，陸地での遡上流の深さ，浸水範囲であつても，Haiyan堆積
332 物の内陸範囲はタナウアンとトロサの間で明らかに異なる(Table 1)．<300 mまでの台風
333 Haiyanのオーバーウオッシュ堆積作用に関する先行報告に対して(e.g., Abe *et al.*,
334 2015; Brill *et al.*, 2016; Watanabe *et al.*, 2017)，我々は，900 m~1.6 kmのより大
335 きな内陸範囲を記載した．これは，本研究のスコープ以外の他の局知的状況が，植生
336 (e.g., Gelfenbaum *et al.*, 2007; Wang and Horwitz, 2007; Watanabe *et al.*, 2017)ま
337 たは複数の波の相互作用(e.g., Apotsos *et al.*, 2011)などが空間的变化に寄与している
338 可能性が高いことを示唆する．タナウアンとトロサを覆う沿岸植生は，ココナッツ林，マ
339 ングローブ林 (*Nypa*森林)，草地（水田を含む）と様々である．各植生帯の小規模な地形
340 変化は，局地的な堆積サイトを形成すると思われる(e.g., Hori *et al.*, 2007; Apotsos
341 *et al.*, 2011)．たとえば，*Nypa*森林内の小さな水路や水田の小さな窪み (e.g., Ma 10)
342 により，周辺地域に比べてHaiyan堆積物がより厚く堆積した．植生は，陸地の遡上流の状
343 態を変えることで，堆積パターンにも影響する．植生タイプごとに異なる高さと密度があ
344 り，その結果水底のせん断応力が変化し，陸地の流れの状況が変わり，内陸範囲とオーバ
345 ーウオッシュ堆積物の厚さの変化をもたらす(Watanabe *et al.*, 2017)．タナウアンのト
346 ランセクト (Sc, So, Ma, トレンチMP1~7) からの堆積物のより詳細な堆積物の輸送モデ
347 リングは，これらの局地的要因の相対的な寄与への見識を示す(e.g., Gelfenbaum *et*
348 *al.*, 2007; Tang and Weiss, 2015)．

349

350 6.3. 高潮の流れと堆積領域の堆積学的指標

351 タナウアンのHaiyan堆積物の2つのサブユニット（ユニット1と2）(Figs. 6, 7)は，異
352 なる浸水状況(e.g., Williams, 2009; Hawkes and Horton, 2012)，または複数の波の到

353 来のどちらかに起因する (e. g., Leatherman and Williams, 1977; Sedgwick and Davis,
354 2003; Switzer and Jones, 2008). 目撃者の証言と高潮モデルは, Haiyanの高潮浸水の発
355 生時に三度の波浪効果による海面上昇が起きたことを示す (Soria *et al.*, 2016). ユニ
356 ット1と2は, 明瞭な堆積性境界あるいは侵食性境界によって区切られており, これは, 各
357 ユニットが異なる流水状況から生じたことを示す. ユニット1と2は, Haiyanの浸水中に複
358 数の波浪効果による海面上昇から生じた可能性はあるが, 個々のユニットを単一の波浪効
359 果による海面上昇に帰すことはできない. 波の数とイベント堆積物内のサブユニットまた
360 は層の数との間には, 1対1の対応はないようだ (e. g., Gelfenbaum and Jaffe, 2003;
361 Hawkes *et al.*, 2007). または, Haiyan堆積物のユニット1と2は, ハリケーンRita
362 (Williams, 2009) で観察されたものと同様の様々な浸水状態に対応する異なった堆積相
363 を示す. ユニット1の層状でマグネタイトに富む上方粗粒化の基底の砂は, 台風Haiyanの
364 深い洪水と段波型洪水に関連した懸濁物によって堆積した可能性が最も高い (e. g., Wang
365 and Horwitz, 2007; Williams, 2009). 対照的に, ユニット2によって特徴付けられるよ
366 り粗粒の塊状の砂は, Haiyan洪水の後半の段階で, または, 台風直後の回復の最初の段階
367 からのより小さなオーバーウォッシュからのどちらかで, ウォッシュオーバーでできた平
368 面のトラクションロードで堆積した可能性が高い (e. g., Williams, 2009; Brill *et al.*,
369 2016). さらに, 両方の砂ユニットでの上方粗粒化傾向 (Figs. 6c, 7d) は, 最初の波の到
370 着時, または戻り流のどちらかの大波の速度の増加による可能性がある. これは, ハリケ
371 ーンRitaやIkeなどの他の強烈なハリケーンに似る (Horton *et al.*, 2009; Hawkes and
372 Horton, 2012).

373 全体的に, Haiyanのオーバーウォッシュ堆積物内の2つのサブユニットは, 平行葉理と
374 上方粗粒化傾向を示し (Figs. 6c, 7d), あわせて, 一方向で, 乱流かつ高い流れの領域を
375 示し (Cheel, 1990; Fielding, 2006), 台風Haiyanの段波型の高潮と整合的である (Soria
376 *et al.*, 2016). カテゴリ1のハリケーン中のアメリカ大西洋岸のアサチーグ島での深さ
377 0.7 mの大波による暴風雨のオーバーウォッシュの現地測定により, 約2~3.5 m/sのオー
378 バーウォッシュの流速が得られた (Leatherman, 1976; Fisher and Stauble, 1978). これ
379 に対し, タナウアの15 km南の海岸での深さ1 mの台風Haiyanの洪水では, 3~4 m/sの流
380 速が換算された (Ramos *et al.*, 2014). タクロバンでは, 少なくとも3 mのより深い大波
381 の洪水により, 7 m/sの流速が得られたが, これらの速い遡上流の流速は主に都市部の道
382 路でのチャンネル化された流れによるものだった (Takagi *et al.*, 2016). これらの遡上流
383 の流速は, すでにモデル化されたタクロバンにおけるHaiyanの大波の2 m/sを超えない陸
384 上の流速よりも比較的強く (Bricker *et al.*, 2014), 2011年の東北津波などの津波の遡上

385 流のより低い範囲内にある (Hayashi and Koshimura, 2012). 我々の広範な堆積物のデー
386 タは、数少ない陸地の流速の推定値を実証するための堆積物運搬モデリングに使用でき
387 る.

388

389 6.4. Haiyan およびその他の現世の嵐と津波のオーバーウォッシュイベント

390 台風Haiyanの段波状の高潮は、最近の世界的に重要な高潮の中では珍しいようだ
391 (Mikami *et al.*, 2016). 表2は、台風Haiyanの高潮が、非常に短い洪水期間を持ち、同様
392 の強烈な現世の嵐と比較して急な高潮プロファイル (Soria *et al.*, 2016) をもたらしたこ
393 とを示す (Fritz *et al.*, 2007; Doran *et al.*, 2009; Boughton *et al.*, 2011; Morton
394 and Barras, 2011; McGee *et al.*, 2013; Takagi *et al.*, 2015). そのため、Haiyanの大
395 波による流速が3~4 m/s (Ramos *et al.*, 2014) から7 m/s (Takagi *et al.*, 2016) であ
396 り、それは仙台平野の同様のなだらかな海岸での2011年東北津波の遡上流の流速の範囲内
397 (Abe *et al.*, 2012; Sugawara and Goto, 2012; Hayashi and Koshimura, 2012) であった
398 ことは驚くことではない (Table 3). おそらく、Haiyanの高潮と津波の洪水の見かけの類
399 似点は、オーバーウォッシュの堆積作用に影響を与えたため、明らかな違いはあるもの
400 の、堆積物の特徴は大部分が嵐の堆積物または津波堆積物のどちらかである.

401 台風Haiyanのオーバーウォッシュ堆積物は、同等の強烈な嵐のものと同様の堆積構造と
402 層序関係を示すが、堆積物の厚さと内陸範囲は異なるパターンを示す (Table 2). 現世の
403 オーバーウォッシュ堆積物は通常、陸側への細粒化傾向、平行葉理、および下層の嵐前の
404 シーケンスとの明瞭な基底境界を示すが、境界の性質は堆積性または侵食性のいずれかで
405 ある (e.g., Morton *et al.*, 2007; Horton *et al.*, 2009; Williams, 2009, 2010;
406 Hawkes and Horton, 2012; Nott *et al.*, 2013). 堆積物の厚さはしばしば変わる. 台風
407 HaiyanとハリケーンKatrinaから生じたオーバーウォッシュ堆積物は、サイクロンYasi,
408 ハリケーンIke, Rita, Isabel, Carla (40cmから<1m) と比較して著しく薄い (<20cm).
409 より厚い嵐の堆積物は、典型的には、海岸から限られた範囲で形成されるウォッシュオー
410 バーテラスまたはファンに関連する (e.g. Morton *et al.*, 2007; Williams, 2009; Nott
411 *et al.*, 2013). 現世の嵐によるオーバーウォッシュ堆積物の多くは、内陸範囲が<100 m
412 に制限されていることを示す. たとえば、サイクロンYasiによって堆積した堆積物は、~
413 80 mの距離にのみ到達した (Nott *et al.*, 2013). これは、内陸に1 km以上の堆積物を堆
414 積した台風Haiyan, ハリケーンIke, Carlaとは対照的である (Morton *et al.*, 2007;
415 Williams, 2010) (Table 2).

416 台風Haiyan堆積物は、現世の津波堆積物でも見られる堆積構造を示す. 台風Haiyanオー

417 オーバーウォッシュ堆積物は、上方細粒化傾向と上方粗粒化傾向の両方を示すが、系統的な内
418 陸への細粒化は示さない。堆積物はまた、塊状または平行葉理を示す。これらの堆積学的
419 特徴は、2011年の東北沖(Abe *et al.*, 2012; Takashimizu *et al.*, 2012), 2006年の西ジ
420 ャワ(Moore *et al.*, 2011), 2004年のインド洋の地震と津波(e.g., Moore *et al.*, 2006;
421 Hawkes *et al.*, 2007; Morton *et al.*, 2008; Switzer *et al.*, 2012) (Tables 4, 5)に
422 よる津波堆積物(Table 3)にも見られる。さらに、Haiyan堆積物は比較的薄く (<30 cm),
423 2011年東北地方, 2006年西ジャワ州, 2004年インド洋津波の現世の津波堆積物に類似する
424 (Tables 3-5)。しかし, 2011年の東北津波(Abe *et al.*, 2012), 2004年のインド洋津波
425 (Srinivasalu *et al.*, 2007; Switzer *et al.*, 2012)では, 最大の厚さが40 cmに達する
426 より厚い津波堆積物も報告されている。

427 Haiyan堆積物の最大内陸範囲は、現世の津波堆積物との顕著な類似点と相違点を示す
428 (Tables 3-5)。たとえば、同様の地形と陸地の流れの状態ならば、バセイの台風Haiyan堆
429 積物の内陸範囲は、インドネシア、インド、スリランカの狭くて急傾斜な海岸の2004年の
430 インド洋津波堆積物に匹敵する。オーバーウォッシュ堆積物は、一般的に350~400 m内陸
431 に達した(Moore *et al.*, 2006; Srinivasalu *et al.*, 2007; Morton *et al.*, 2008;
432 Switzer *et al.*, 2012) (Table 4)。同様に、タナウアンの台風Haiyan堆積物の内陸範囲
433 は、タイの広大な浜堤の海岸沿いの2004年インド洋津波堆積物に匹敵する。オーバーウォ
434 ッシュ堆積物は、1 kmを超えるが2 kmを超えない範囲の内陸距離に達した(Hori *et al.*,
435 2007; Jankaew *et al.*, 2008) (Table 5)。沿岸環境と陸地の流れの深度は匹敵するが、台
436 風Haiyanのオーバーウォッシュ堆積物は、2011年の東北津波が4 kmに達した場合と比較し
437 て、最大内陸範囲が<2 kmに限られている(Abe *et al.*, 2012; Takashimizu *et al.*,
438 2012) (Table 3)。

439 レイテ湾の台風 Haiyan のオーバーウォッシュ堆積物と現世の津波堆積物との明確な違
440 いは、基底境界の特徴に見ることができる。現世の津波堆積物は一般的に侵食性境界を示
441 す(Tables 3-5)、一方で、台風 Haiyan 堆積物はほとんどの場合、堆積性境界を示し、侵食
442 性はめったにない(Table 1)。

443 台風Haiyan堆積物と他の現世の嵐と津波堆積物との比較研究は、内陸範囲とオーバーウ
444 ッシュ堆積物の厚さは大きく変異し、嵐と津波堆積物の間に明確なパターンがないこと
445 を示す(Tables 2-5)。オーバーウォッシュ堆積物の内陸範囲と厚さは、地形起伏、浸水限
446 界、陸地の流れの状態を含むいくつかのサイト固有の要素の流体力学的な相互作用による
447 ものと思われる(e.g., Morton *et al.*, 2007; Hawkes and Horton, 2012; Apotsos *et*
448 *al.*, 2011)。Watanabe *et al.* (2017)の数値モデリング結果に反して、現世のオーバーウ

449 オッシュ堆積物の実証的データは、最大内陸範囲と堆積物の厚さが、局地的変異性の効果
450 により、嵐と津波堆積物を区別するための決定的な証拠を必ずしも提供しないことを示
451 す。

452

453 7. 結論

454 台風 Haiyan 堆積物は、局地的な地質、沿岸地形の起伏、流体力学的状態との相互作用
455 が、嵐の浸水中の内陸への堆積作用に強く影響するという明確な証拠を示す。タナウアン
456 とバセイ間は同様の高潮レベルにもかかわらず、台風 Haiyan は両方の場所に明らかに対
457 照的な堆積物を残し、局地的地質と地形起伏の影響を明白にしている。バセイの珪質碎屑
458 物と炭酸塩が混合する海岸では、Haiyan のオーバーウォッシュ堆積物は、炭酸塩に富み、
459 不十分な淘汰の、シルトから細粒砂である。対照的に、タナウアンの珪質碎屑物の海岸で
460 は、Haiyan のオーバーウォッシュ堆積物は、炭酸塩に乏しく、主に灰色で、中程度から良
461 い淘汰で、細粒砂から粗粒砂である。さらに、タナウアンの低地の平坦な地形は、高潮 (2
462 km) と、それによるオーバーウォッシュ堆積物 (~1.6 km) の内陸への侵入を促進したが、
463 バセイの段丘の炭酸塩プラットフォームと水田に伴う比較的不規則な地形は、オーバーウ
464 ヌッシュ堆積物の内陸範囲を制限した (~400 m)。最も厚い堆積物 (8~20 cm) は、浅い
465 窪みや池などの地形的に低い場所で局所的に観察された。特に、堆積環境、地形起伏、陸
466 地の流れの深さ、および浸水範囲は類似していたが、タナウアンやトロサなどの場所では、
467 Haiyan 堆積物の内陸範囲が空間的に異なっていた。台風 Haiyan 堆積物の厚さと内陸範囲
468 の空間的变化は、植生の異なるタイプにさらに起因する可能性があると推測する。

469 全球規模で、台風 Haiyan 堆積物は、嵐の浸水としては典型的ではない洪水の特徴を示し
470 た極端な高潮の堆積物記録を表す。増加する水深と流速が発生した短い浸水期間は、世界
471 的に現世の注目されている高潮の中でまれな特徴であり、津波の浸水の特徴を持つ。Haiyan
472 堆積物は、平行層理、上方粗粒化シーケンス、体系的ではないものの全体的には陸側への
473 細粒化傾向を示し、そして下層とは明瞭な堆積性(まれに侵食性)境界を示す。台風 Haiyan
474 堆積物は、同様の地形の起伏と陸地での流動状態だとすると、2004年のインド洋津波堆積
475 物と比較して、厚さ (<30 cm) と内陸範囲 (数百 m から 2 km) で同等の堆積パターンを
476 示す。全体的に、Haiyan 堆積物は、嵐の堆積物と津波堆積物の両方に共通した堆積物学的
477 および層序学的特徴を有している。

478 北村晃寿・鮫島洋美