

伊豆半島南端の入間に分布する津波堆積物の掘削調査

藤原 治*・平川一臣**・阿部恒平***・入月俊明****

1. はじめに

伊豆半島南端に位置する静岡県南伊豆町入間の集落は、標高 16 m 前後の砂堆の上に位置する (図 1)。入間の旧家である外岡家の歴史を綴った「加美家沿革誌」(荻原, 1958) や地元の伝承によれば、この砂堆の上部の厚さ数 m の部分は、1854 年安政東海地震津波で打ち上げられた津波堆積物であると考えられている (浅井ほか, 1998)。現地を調査した浅井ほか (1998) によれば、津波堆積物の層厚は 4 m 以上、場所によっては 8 m に達すると推定され、体積は 70 万 m³ 以上と推定されている。陸上に堆積した津波堆積物は層厚数十 cm から 1 m 未満のことが大半であり (Moore *et al.*, 2006; Morton *et al.*, 2007; 首藤, 2007), 伝承と推定が確かであれば、入間に分布する津波堆積物は異例に厚いことになる。

しかし、入間における安政東海地震津波とその堆積物については疑問が残されている。まず、入間での津波の最大の高さは、13.2-16.5 m と推定されているが (都司・斉藤, 1995), これは周辺地域に比べて飛びぬけて大きな値である。伊豆半島周辺では大半の場所で安政東海地震津波の最大高は 5-6 m 前後である (渡辺, 1998)。入間だけが顕著に波高が高い理由は、数値計算によっても十分には解明されていない (浅井ほか, 1998)。また、非常に厚い津波堆積物が入間集落の狭い範囲にどのようなプロセスで形成されたのか、堆積学的な説明もされていない。さらに、砂堆

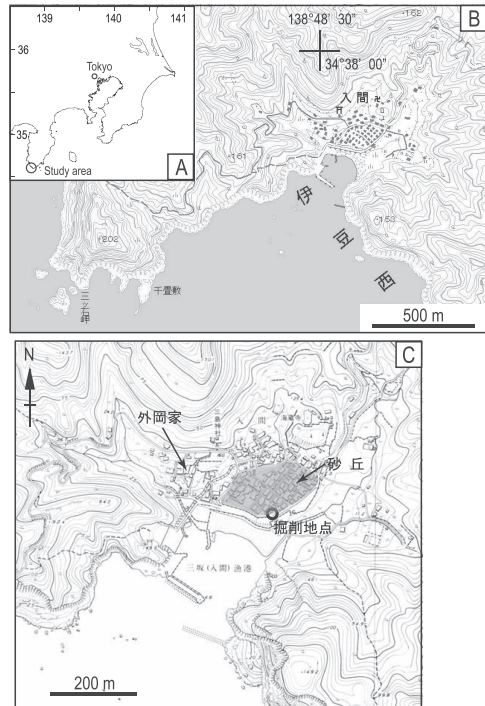


図 1 位置図

B : 1/25000 地形図「石廊崎」を使用。

C : 1/5000 国土基本図Ⅷ-PE 07 を使用。

の地形形成史的な観点からの説明も必要と考えられる。

そこで本研究では、入間における津波堆積物の信憑性と内部構造を調べるために津波堆積物と、その下の砂丘を貫くボーリング調査を行った。ここでは、ボーリングコアの層相と堆積環境について報告する。

2. 調査地域

入間集落は北・東・西の三方を山に囲まれた谷の出口にあり、南は海に面している (図 1)。谷の出口を塞ぐように砂堆が分布しており、この砂堆の標高は高い場所で 16 m 以上

* 産業技術総合研究所 活断層研究センター

** 北海道大学大学院 地球環境科学研究院

*** 筑波大学大学院 生命環境科学研究科

**** 島根大学総合理工学部地球資源環境学科

ある。入間集落の大部分はこの砂堆の上にある。砂堆の東西両側には溪流性の急流小河川が流れており (図 1B, C), 河口付近には様々なサイズの礫が混じった砂層が分布している。

砂堆の上部は人工改変が加えられている。「加美家沿革誌」や現地での聞き取り調査によると、元々の集落は凹凸のある砂堆の上に築かれていたが、1924 年 1 月 11 日に集落の 30 数軒を焼く大火があり、焼け跡を均した上に現在の集落が再建された。また、1974 年伊豆半島沖地震による海岸被害の復興に関連して集落南側に舗装道路が作られた。それ以前はこの道路の位置から海岸へ砂堆斜面が延びており、当時の子供達は砂スキーなどをしていた。

この地域では非常に風が強く、特に冬季には風による砂の移動が活発である。集落は防風・防砂のための堤や塀で南・東・西を囲まれており、図 2 に示すように集落の外からは家の屋根だけが見えている。現地での聞き取りによると、集落南側の浜にあるコンクリー

トで舗装された船着場では、1-2 年毎に重機による砂の排除が必要とのことである。また、入間湾入り口の防波堤が完成するまでは、台風による高波や高潮で集落周辺の標高数 m 程度以下の海岸の水田・人家などは繰り返し被害を受けた。

入間での津波高さの推定値 13.2-16.5 m は、集落西部の外岡家 (図 1C) の近傍にある木の枝に浮遊物が漂着した高さと伝えられる。この地点は谷沿いにあり、津波が高い位置まで駆け上ったものと思われる。

3. 掘削地点と調査方法

掘削地点は砂堆上で最も標高が高い南東端近くの駐車場脇で (図 1C, 2), 標高は約 16.3 m である (GPS 測量による)。この地点はかつて防砂林があった場所で、火災復興に関わる地形改変をあまり受けていないと考えられる。コア (径 100 mm) は機械式ボーリングで深度 20 m まで掘削され、回収率はほぼ

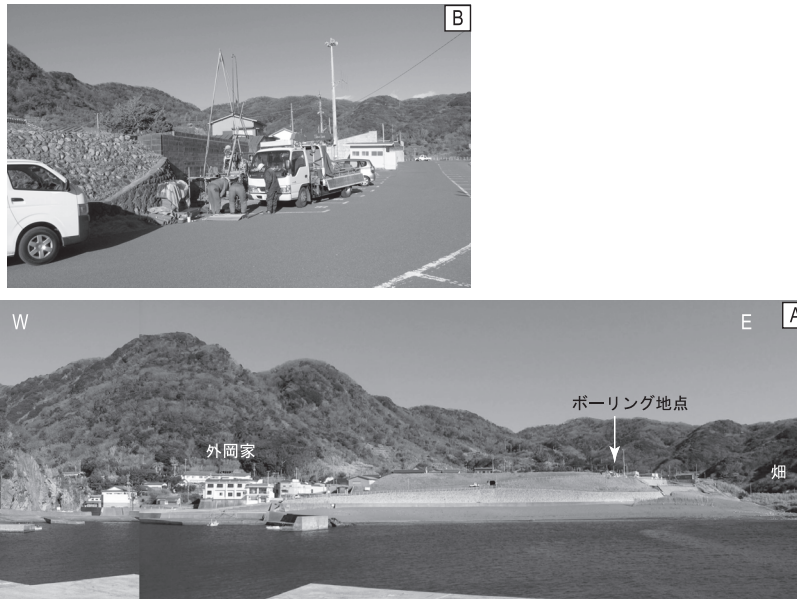


図 2 入間集落が乗る砂丘と掘削地点

A: 海側から見た砂丘と集落。「加美家沿革誌」によると、津波前には外岡家から東方の畑が見えていたが、現在は砂丘で遮られている (図 3 参照)。

B: ボーリング工事の状況

100%である。コアは室内で半裁し、層相記載と写真撮影を行った。

浅井ほか（1998）が示した津波堆積物の断面との関係を図3に示す。浅井ほか（1998）は「加美家沿革誌」と「津波以前には現在の集落地の西方に位置する外岡家から集落の東方に位置する畑が見渡せたが、現在は集落に阻まれてその畑は見えない。」との現地での聞き取り情報に基づいてこの図を描いた。

4. コアの層相

コアに見られる地層は層相の特徴から、深度 20.0 m-15.1 m, 15.1 m-1.05 m, 1.05 m 以下の3つの区間に分けられる。以下に層相の特徴を記載する。コア写真を図4に、柱状図を図5に示す。

深度 20 m から 15.1 m

この区間は、厚層数十 cm ないし 1 m 前後の砂層が何層か重なった構造を示す。個々の砂層は茶灰色 - 暗黄土色を呈する比較的良く締まった中 - 粗粒砂からなり、稀に礫を含む。深度 20.0 m から 19.1 m は均質で中程度に淘汰された中 - 粗粒砂層からなる。深度 19.44

m 付近に径 5 mm 前後の軽石を含む。深度 19.1 m 付近に層厚約 1 cm の黒色粗粒砂層を挟む。深度 19.09 m から 19.03 m は上方細粒化する中粒砂層からなる。この砂層は上方へ次第に泥質になる。

深度 19.03 m から 17.7 m 付近までは、均質で中程度に淘汰された中 - 粗粒砂層からなる。下位の泥質砂層との境界は明瞭である。基底から深度 18.1 m 付近までは中粒砂層からなるが、そこから上位へ粗粒化し深度 18.05 m 付近より上位では粗粒砂からなる。

深度 17.7 m 付近から 17.25 m までは、淘汰の悪い亜角 - 亜円の細 - 中礫を含む粗粒砂層からなる。下位層との境界は明瞭で削りこみを伴う。この砂層は上方へ粗粒化し最上部に径 5 cm 程度の礫を含む。深度 17.25 m から 16.78 m までは粗粒砂層からなる。下位層との境界は、コアの継ぎ目に当たるために良く分からない。この砂層は上方へ粗粒化し深度 17.0 m 付近より上位では細礫質になる。深度 16.78 m から 16.18 m までは粗粒砂層からなる。基底には巨礫が挟まり、コアはこの礫を貫いている。この砂層は上方へ粗粒化し深度 16.30 m 付近より上位では細礫質になる。深度 16.18 m から 15.90 m までは中 - 粗粒砂層

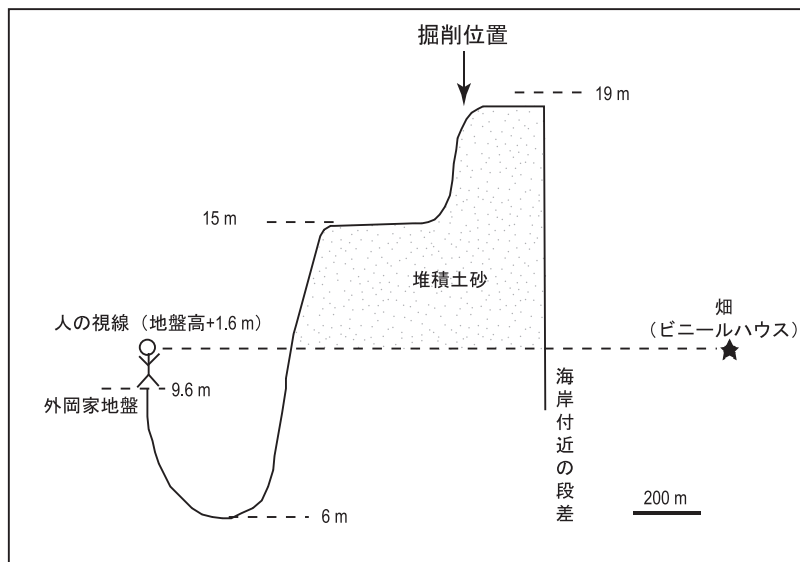


図3 伝承に基づく入間での堆積土砂量の見積もり（浅井ほか，1998）

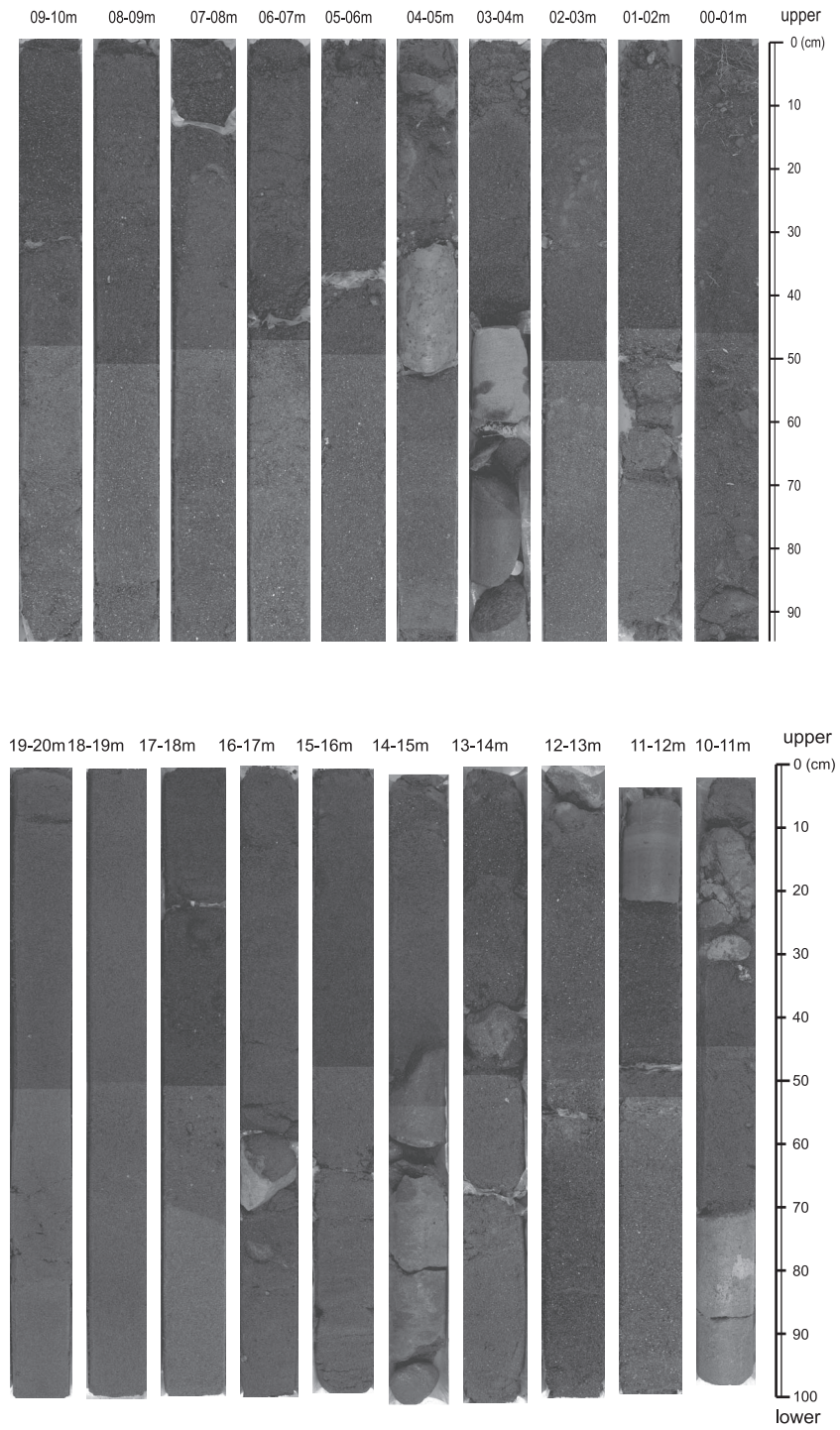


図 4 コア写真 (半裁断面)

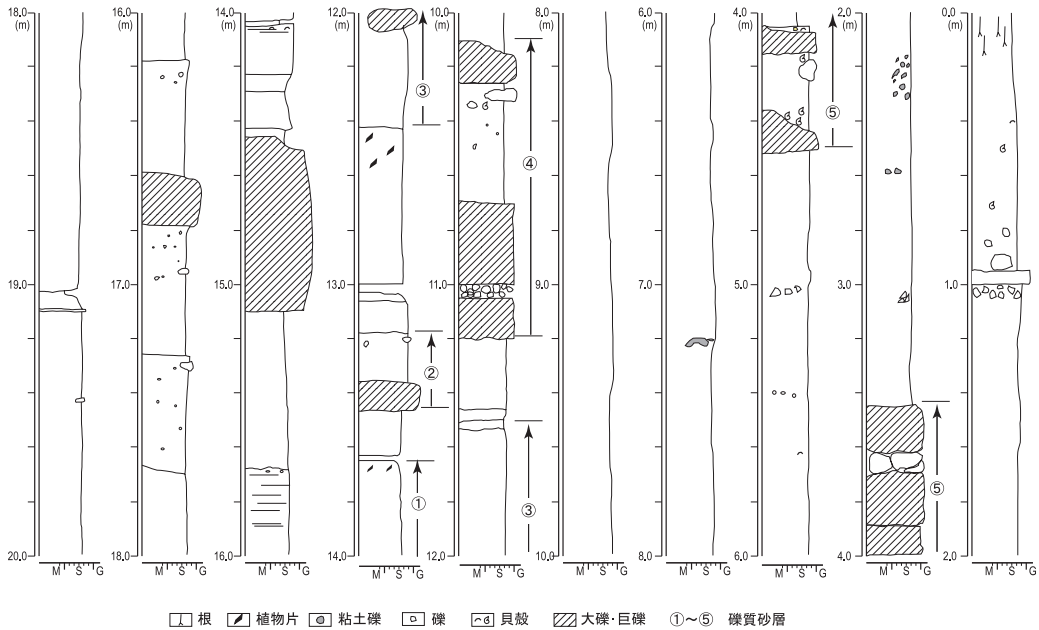


図5 コアの柱状図

からなる。下位層との境界は明瞭である。この砂層は最上部で上方粗粒化する。

深度 15.90 m から 15.68 m までは砂鉄質の平行葉理が発達する粗粒砂層からなる（図 6）。下位層との境界は漸移的である。この砂層の最上部は細礫を含む。深度 15.68 m から 15.10 m までは中程度に淘汰された暗黄土色 - こげ茶色の中粒砂層からなる。この砂層は上方細粒化を示す。

深度 15.1 m から 1.05 m

この区間は貝殻細片（数 mm 前後）を含む暗灰色 - 暗茶灰色の粗粒 - 極粗粒砂層と、大礫や巨礫を含む砂層の繰り返しからなる。礫質の区間には図 5 で下位から順に①～⑤の番号をつけた。

深度 15.1 m から 13.65 m までは礫質区間①に当たり、巨礫とそれを覆う成層した砂層からなる。この区間は全体として上方へ細粒化する。深度 15.1 m から 14.45 m までは火山角礫岩の巨礫で、礫の上面には砂鉄の濃集層（厚層 2-3 cm）が見られる。深度 14.42 m から 14.05 m までは中程度に淘汰された粗粒 - 極粗粒砂層からなる。この砂層は基底から

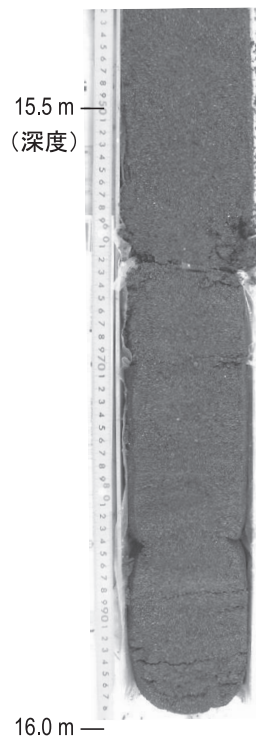


図6 コアに見られる前浜堆積物砂鉄質の平行葉理が発達する。

深度 14.30 m 付近まで上方細粒化し、そこから上位へ粗粒化する。砂層の最上部には貝殻片を含み弱いラミナが発達する。この砂層の上面には、茶灰色の細粒砂層の薄層（層厚 1 cm 前後）が重なる。深度 14.05 m から 13.65 m までは、貝殻細片を含む中程度に淘汰された粗粒砂層である。下位層との境界は明瞭である。深度 13.70 m 付近から上位へ細粒化し泥質になり、最上部では植物片を含む。深度 13.65 m-13.63 m はコアが欠如している。

深度 13.63 m から 13.47 m までは比較的淘汰の悪い中-粗粒砂層からなり、上部には貝殻片を含む。

深度 13.47 m から 13.18 m までは礫質区間②にあたり、基底の安山岩大礫とそれを覆う暗灰色の極粗粒砂層からなる。この砂層は基質が泥質で貝殻片や径 3 cm 前後の礫を含む。

深度 13.18 m から 13.03 m までは暗褐色の極粗粒砂層からなる。下位層との境界は明瞭である。砂粒子の淘汰は悪いが、泥分は少なくクリーンな砂からなる。深度 13.07 m 付近から上位へ細粒化し泥質になる。この泥質の区間は茶灰色を呈する。深度 13.03 m から 13.00 m まではコアが欠如している。

深度 13.00 m から 12.42 m までは暗灰色で淘汰の悪い粗粒砂層で、貝殻細片を含む。深度 12.6 m 付近より上位はやや色が薄く、泥質で植物片を含む。

深度 12.42 m から 11.50 m までは礫質区間③に当たり、主に貝殻細片を含む粗粒-極粗粒砂層からなる。下位層との境界は明瞭で、区間の中部に礫を含み、そこから上以へ細粒化する。基底部は粗粒砂からなり、深度 12.3 m 付近へ向かって上方粗粒化する。深度 12.05 m 付近に円礫（中-大礫）を含み、この礫を含む区間はマトリックスが泥質である。深度 11.57 m 付近から上位へ細粒するとともに泥の含有量が増加し、深度 11.53 m-11.50 m の区間は泥質砂層からなる。

深度 11.50 m から 11.20 m までは貝殻細片を含む粗粒砂層で、最下部の数 cm を除いて淘汰が良い。

深度 11.20 m から 10.10 m までは礫質区間

④に当たり、礫岩のブロックとそれを覆う貝殻片や礫を含む粗粒砂層からなる。深度 10.5 m から 10.25 m の区間は上下の区間に比べて淘汰が悪い。深度 10.35 m 付近にはサザエの破片が見られ、深度 10.25 m-10.1 m 付近には大礫が挟まる。

深度 10.1 m 付近から 4.52 m までは、全体にルーズで貝殻細片を含む粗粒-極粗粒砂層からなる。この砂層は、比較的淘汰の良い区間と淘汰が悪くやや泥質の区間が 10 cm から数十 cm ごとに繰り返す。深度 7.2 m 付近には粘土礫、深度 5.4 m 付近には軽石凝灰岩の礫、深度 5.05 m-5.0 m の区間には角張った中礫を含む。深度 5.05 m-5.0 m の礫はコアの継ぎ目に当たり、上位層準に含まれる巨礫や大礫の掘削屑が混入したものと考えられる。

深度 4.5 m から 3.45 m の区間は礫質区間⑤に当たり、礫層と貝殻細片を含む砂層の互層からなる。基底には軽石凝灰岩の大礫が挟まる。この礫を覆う粗粒砂層（深度 4.4 m-4.15 m）には、岩礁に生息する巻貝であるサザエやバテイラが密集して含まれる（図 7）。貝殻は破片になっているものもあるが、磨耗は殆んど無く新鮮である。深度 4.15 m-4.05 m は礫、深度 4.05 m-4.0 m は中粒砂層である。深度 4.0 m-3.45 m までは大礫が重なる。深度 4.15 m 付近の砂層から陸貝であるキセルガイの一種の殻が認められた。

深度 3.45 m から 1.05 m までは、全体にルーズで貝殻細片を含む粗粒砂層からなる。この砂層は、比較的淘汰の良い区間と淘汰が悪くやや泥質の区間が 10 cm から数十 cm ごとに繰り返す。深度 3.05 m 付近に角礫、2.6 m と 2.3-2.2 m 付近に粘土礫を含む。

深度 1.05 m から地表まで

深度 1.05 m から 0.8 m までは瓦やレンガなどの破片を含む粗粒砂層からなる。瓦やレンガ片の一部には焼け焦げた痕跡が認められる。深度 0.8 m-0.2 m まではルーズな粗粒砂層で貝殻細片が混じる。この砂層はキセルガイの一種の殻をしばしば含む。深度 0.4 m 付近から上位へ細粒化し次第に泥質になる。深



図7 岩礫性の貝類の殻を含む砂礫層

コアの深度 4.56 m-4.01 m の区間。軽石凝灰岩の礫を取り外して、下にある貝殻が見えるようにした。岩礫性の巻貝であるサザエとバテイラが見える。

度 0.2 m より浅い部分は植物の根が密集する泥質砂層である。

5. 考察

層相の特徴と調査地の立地条件から、コアを構成する地層の堆積環境と形成過程を推定した。

5.1 堆積環境

深度 20.0 m-15.1 m (標高 -3.7 m-1.2 m)

特徴的な堆積構造を持つのは、深度約 15.9 m から 15.7 m (標高 0.4 m-0.6 m) の区間で、砂鉄質の平行葉理が発達する砂層からなる。これは前浜の堆積物の特徴であり、形成環境は通常時に波が遡上と流下を繰り返す範囲にほぼ相当する (増田・横川, 1988)。現在の入間の海岸でも、前浜に砂鉄が濃集している



図8 入間の海岸で見られる前浜堆積物
砂鉄が濃集した黒い層が見られる。

のが観察される (図 8)。現在の入間周辺 (石廊崎) の一年間の潮位は東京湾平均海面高度に比べておよそ +90 cm から -110 cm の範囲にある (気象庁のホームページによる)。コアに見られる砂鉄質のラミナが発達する区間の上限は、通常時の高潮位とほぼ一致している。

この前浜堆積物を基準にすると、これより下位の地層は主に海中で、上位の地層は陸上で堆積したと考えられる。深度 20.0 m から 15.9 m の区間は、厚層数十 cm ないし 1 m 前後の中-粗粒砂層が何層か重なっている。個々の砂層はしばしば逆級化構造を示し最上部に礫を含んでおり、これは粒子を高い密度で含む重力流による堆積作用の特徴の一つである (例えば, Lowe, 1982, 1988; Sohn, 2000)。掘削地点が溪流小河川の出口に位置することを考慮すると、礫は土石流や洪水によって溪流小河川から流れ込んだものであろう。この地層は土石流や洪水がしばしば流れ込む河口部の浅い海で堆積したと考えられる。

堆積構造がほとんど認められない深度 15.7 m から 15.1 m の区間は、層序的に見て前浜上部から後浜にかけての堆積物と考えられる。

深度 15.1 m-1.05 m (標高 1.2 m-15.25 m)

この区間は、現在の海浜や砂丘周辺の堆積物と良く似た貝殻細片が混じるルーズな砂層と礫質砂層 (区間①~⑤) の互層からなる。ルーズな砂層には堆積構造はほとんど確認で

きない。入間では通常時は風による砂の供給が卓越していることを考慮すると、これは主として海浜から風で運ばれたものである。一部の層準で陸貝の殻を含むことも、砂丘の堆積物であることを支持する。

一方、礫質砂層からなる区間は風では運ばれないサイズの礫を含み、成層構造が見られ、マトリックスがやや泥質である。また、上記の砂丘堆積物にも、時折礫や粘土礫を含む区間がある。これらは立地環境を考慮すると、溪流からの土石流や洪水、あるいは高潮や津波が砂丘に突入して堆積したと考えられる。区間①では基底の巨礫を覆って砂鉄の濃集層が見られることが特徴である。これは海岸から供給された砂鉄に富む砂が水流で分級されたことを示すと考えられ、区間①は高潮あるいは津波堆積物の可能性が高い。

また、区間⑤は岩礫性貝類を多く含むことで特徴的である。貝類の殻は保存が良く海から打ち上げられた直後に急速に地層に埋積されたように見える。この地層については、現状では2通りの成因が考えられる。成因の候補の一つは、この礫質の区間⑤が伝承された1854年安政東海地震による津波堆積物とする考えである。仮にそうであれば、砂堆の上部4.5 m程度が1854年安政東海地震津波とそれを覆う風成砂であることになり、浅井(1998)が伝承に基づいて推定した津波堆積物の層厚と調和的である(図3)。

もう一つには、礫を含む区間が人工遺物である可能性もある。「加美家沿革誌」によれば、集落の南側の防風堤の工事で地下から34人分の人骨が発見され、また昭和29年に行われた水道工事で地下約3.6 mから3体分の遺骨が発見されている。このことから集落の地下4 m前後に人工物が埋まっている可能性がある。コアに見られる礫は石畳などの構造物の一部である可能性もある。

深度 1.05 m より上位

下部の瓦礫は、1924年の火災の跡と考えられる。この区間は1924年以降の瓦礫と風成層である。

5. 2 地形形成史的観点からみた砂堆の形成過程の解釈

入間集落がある砂堆は、台地・段丘状の地形で、周辺の溪流は10 m以上の深い谷になっている。このような地形は、前浜堆積物(上限高度は標高0.6 m)の形成以降に、砂堆の成長とともに発達してきた。すなわち、砂堆の成長とともに、溪流床との高度差(谷の深さ)は大きくなって、現在は約15 m程度になっている。

前浜堆積物の上位に重なる堆積物に挟まれる5層の大礫・巨礫を含む区間は、周辺の溪流から突発的にもたらされた土石流堆積物あるいは津波や高潮による堆積物と解釈した。しかし、大礫・巨礫が高度差のある溪流から土石流によって砂堆上へ運ばれたという解釈は、地形形成過程の点では考えがたい。むしろ、これらの大礫・巨礫層は津波によってそれぞれの時期の砂堆表面に運ばれたとする方が地形発達史の点からは合理的である。地層の具体的な年代が得られていないので確実なことは言えないが、この砂堆堆積物は過去に発生した津波の履歴を記録している可能性を指摘しておきたい。

6. まとめ

伊豆半島南端の南伊豆町入間に分布する砂堆(標高16.3 m)で行ったボーリング調査の結果、以下のことが分かった。

- ・この砂堆は下部に前浜-後浜堆積物を伴っており、前浜堆積物の上限高度は標高約1.2 mである。
- ・標高1.2 m以上は風で運ばれた砂丘砂と、砂丘形成中に繰り返し突入した土石流、洪水、高潮、津波などによる堆積物のサクセッションからなる。
- ・伝承された1854年安政津波堆積物については、標高約11.8 m付近の大礫や岩礫性貝類の殻を含む層準から上位の層厚4 m程度の区間が、これに相当する可能性がある。しかし、礫は人工遺物の可能性もあり、津波堆積物の層厚についてはその信憑性も含めて今後とも慎重に調査する必要がある。

謝 辞

掘削地の借用に当たっては、入間区長をはじめ入間集落の方々にお世話になった。伊東市教育委員会の金子浩之氏には、現地での情報収集にご協力頂いた。箕浦幸治教授（東北大学理学部）、ならびに今村文彦教授（東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター）には、入間の津波堆積物の分布範囲などについて情報を頂いた。ボーリング調査は復建調査設計株式会社に依頼した。

本研究は、独立行政法人原子力安全基盤機構からの受託研究（平成17年度原子力安全基盤研究：津波堆積物によるプレート間地震のポテンシャル評価に関する研究）の一部として行った。

注 1

標高16 mに達する台地ないし段丘状のこの地形は、本論で記載するようにいくつかの成因が複合して形成されていると考えられる。そこで、全体の地形に対しては砂堆、風の営力によると考えられる地形については砂丘、堆積物については砂丘砂と呼ぶことにする。

文 献

浅井大輔・今村文彦・首藤伸夫・高橋智幸（1998）伊豆半島入間における安政東海地震津波の波高と土砂移動。海岸工学論文集, 45, 371-375.

Lowe, R. D., 1982. Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Jour. Sedim. Petrol.*, 52, 279-297.

Lowe, R. D., 1988. Suspended-load fallout rate as independent variable in the analysis of current structures. *Sedimentology*, 35, 765-776.

増田富士雄・横川美和（1988）地層の海浜堆積物から読み取れるもの。月刊地球, 10, 523-530.

Moore, A., Nishimura, Y., Gelfenbaum, G., Kamataki, T. and Triyono, R. (2006) Sedimentary deposits of the 26 December 2004 tsunami on the northwest coast of Aceh, Indonesia. *Earth Planets Space*, 58, 253-258.

Morton, R. A., Gelfenbaum, G. and Jaffe B. E. (2007) Physical criteria for distinguishing sandy tsunami and storm deposits using modern examples. *Sedimentary Geology*, 200, 184-207.

荻原直七（1958）加美家沿革誌, 132p.

首藤伸夫（2007）津波による地形変化の実例と流体力学的説明の現状。第四紀研究, 46, 509-516.

Sohn, Y. K., 2000. Depositional processes of submarine debris flows in the Miocene fan deltas, Pohang Basin, SE Korea with reference to flow transformation. *Jour. Sedim. Res.*, 70, 491-503.

都司嘉宣・斉藤 晃（1995）静岡県沿岸の安政東海地震津波。今だから知りたい東海地震, 静岡新聞, 8-13.

渡辺偉夫（1998）日本被害津波総覧（第2版）。東京大学出版会, 238p.