

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：84402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400494

研究課題名(和文) 現世および考古遺跡における高潮・越波堆積物の認定と津波堆積物との比較

研究課題名(英文) Certification of the storm surge and overwash deposits in modern and archaeological sites

研究代表者

中条 武司 (Nakajo, Takeshi)

大阪市立自然史博物館・その他部局等・学芸員

研究者番号：80321917

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)： 現世および考古遺跡発掘現場において、台風を起源とする高潮・越波堆積物について、その堆積相を記載・解釈し、海岸低地における高潮・越波の侵食・堆積過程を明らかにすることを目的とした。

現世堆積物については、三重県松名瀬海岸を中心に検討を行った。微地形およびトレンチ掘削による内部堆積構造の検討から、台風による砂嘴の破壊とそれに連続した砂嘴の復元過程を読み取ることができた。これは破局的な破壊が中心の津波堆積物とは異なる点である。西大阪平野における考古遺跡堆積物の検討では、縄文～古墳時代の大阪湾岸域では、台風による堆積物の集積が平野形成に大きな影響を与えていることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)： In the modern shorelines and archaeological sites, I studied erosion and deposition in coastal lowlands by storm surge and overwash processes of typhoon. Sediments of modern spit in Matsunase coast, Mie Prefecture, is recognized in constructive and destructive phases by overwashes of typhoons. This is different from the tsunami deposits of catastrophic destruction. Coastal deposits of archaeological sites in the western Osaka Plain at Kofun period preserve sedimentation from typhoon processes. Cross-stratified longshore bar deposits show landward-fining facies, and commonly climb up the planar-stratified foreshore deposits. This suggests that bar growth and landward migration was most significant during waning stage of storm-waves. Growth of beach ridges due to sand transport to higher position by typhoon was important role of development and extension of the plain.

研究分野：堆積学

キーワード：越波堆積物 台風 高潮

1. 研究開始当初の背景

2011年の東北地方太平洋沖地震の例をあげるまでもなく、日本の海岸低地は津波による被害を周期的に受ける。東北地方太平洋沖地震での甚大な被害を受け、過去の文献記録やシミュレーションを元にした浸水および被害想定だけでなく、地層中の津波堆積物を識別し、その規模や来襲周期を知る必要性が指摘されている。

一方、海岸低地では津波だけでなく、台風による高潮や砂州・浜堤を越えた越波が襲い、甚大な被害をもたらすことがある。今後の地球温暖化による海面上昇や台風規模の増大により、海岸低地への高潮のリスクはさらに大きくなることが予想されている。それゆえに、内湾、閉鎖水域に面する海岸低地においては、津波と同様に、高潮や越波についてもその来襲頻度と規模を予測しなければ、防災的観点において不十分であるといえる。それには津波と同様に、文献記録だけでなく、堆積物中に挟在される高潮・越波堆積物から得られる情報に着目しなければならぬと考えられる。しかし、高潮・越波堆積物に関する情報はこれまであまり注視されてきていなかった。また、津波も高潮も海域から水塊と堆積物が押し寄せるため、堆積物の識別が困難な場合がある。高潮堆積物や同じ場所での津波堆積物と高潮堆積物の比較検討もあるが、まだ両者の識別が十分できるようになったとはいえない。

2004年インド洋津波と2011年東北地方太平洋沖地震による津波研究によって、津波堆積物の理解は大きく進んだが、高潮堆積物についての理解はまだ十分ではなく、防災上の観点からも早急な検討をしなければならないと考えられた。

2. 研究の目的

高潮および越波堆積物については、その堆積相と堆積時の水理学的挙動も十分明らかになっていない。そこで、明らかに高潮および越波堆積物と認識される現世海浜においてその堆積相と水理学的挙動について検討する。同時に過去から台風による影響が大きかったと考えられる西大阪平野の考古遺跡において、高潮および越波堆積物を識別し、現世高潮堆積物で行った記載・解釈に加え、地層中における保存能および来襲頻度について検討する。既存研究による津波堆積物との相違点を認識し、台風防災のみならず、津波防災への基礎的データの提供を目的とする。

高潮は津波に比べて来襲頻度が高いにもかかわらず、高潮堆積物の研究についてはほとんど行われていない。高潮堆積物の検討により、高潮の水理学的特性を知るだけでなく、考古遺跡での記録から海岸低地への高潮の来襲頻度、被害規模について知ることができるであろう。また津波堆積物との比較検討で、不明な点が多いとされる両者の識別点を明ら

かにすることで、津波防災への貢献も期待できる。

3. 研究の方法

(1) 現世海岸における高潮および越波堆積物の検討

日本の沿岸域の多くは防潮堤などの整備によって、高潮や越波による影響が海岸低地にほとんど及ばないようになっている。そのため、高潮や越波が海岸低地でどのような挙動をし、堆積物を運搬・堆積させるのか不明な点が多く残されている。これは非常に規模の大きな台風が来襲し、海岸低地に被害が及ぶような高潮が発生した際の水の挙動や土砂運搬を知る妨げになっている。三重県の櫛田川河口の松名瀬海岸は、大都市近傍の内湾としては自然状態がよく保存され、潮汐、波浪、河川の作用が相互に影響して海岸地形を構築している。研究申請者の予察的研究により、櫛田川河口においては高潮および越波堆積物が海浜地形の一部を構成していることが明らかとなっている。そこで、本申請研究では、この櫛田川河口松名瀬海岸に存在する高潮および越波堆積物について、微地形についての検討、トレンチ掘削およびハンディジオスライサーによる試料採取によるその堆積相およびその側方変化について検討する。また必要に応じてはぎ取りにより試料の採集をし、粒度分析などを行い、上下の層準に当たる高潮以外の堆積物との比較検討を行う。また、瀬戸内海など高潮被害が多く発生している海岸部を調査し、松名瀬海岸との比較や高潮堆積物のバリエーションを検討していく。

(2) 西大阪平野の考古遺跡における高潮堆積物の堆積相とその来襲頻度の検討

上町台地より西側の大阪平野は、縄文時代以降に形成された海岸低地である。西大阪平野は20世紀以降にも大きな高潮被害を被っていることから、考古遺跡内にも高潮堆積物が多く挟在されていることが期待される。大阪平野には津波も150~200年に一度は来襲しており、津波堆積物も遺跡の堆積物中に挟在している可能性がある。連携研究者と協力し、西大阪平野の遺跡群から高潮・越波堆積物を見だし、その堆積相認定や来襲頻度を検討する。また必要に応じてはぎ取りにより試料の採集をし、室内において詳細な堆積相の検討を行う。

(3) 津波堆積物との比較検討

2004年インド洋津波と2011年東北地方太平洋沖地震による津波研究によって、津波堆積物の理解は大きく進んだが、高潮・越波堆積物との堆積相の違いや地層への保存については十分に明らかになっていない。特に2011年東北地方太平洋沖津波堆積物と、上記(1)(2)で検討した高潮・越波堆積物との比較検討を行うことにより、両者の差異を明らかにしていく。

4. 研究成果

(1) 現世海岸における高潮および越波堆積物

三重県松阪市櫛田川河口（松名瀬海岸）における越波堆積物

伊勢湾南西部、櫛田川河口域の砂嘴およびその後背の泥質潮汐低地には、台風時の越波により形成されたウォッシュオーバー・ファン（以下、WF）が存在している。調査では、2004年と2013年に形成されたWFが累重している箇所に狙いを定め、2013年に形成されたWFの陸側先端から砂嘴を横断する方向に、深さ最大約1m、長さ約25mにわたりトレンチを掘削した。トレンチ掘削を行った範囲のWFは、その形態と内部堆積構造から、下位から上位にI～IVの4つのステージを経て形成されたと考えられる（図1）。

I：上方に累重する平行～波状層理から連続して、陸方向に傾く斜交層理へと変化する堆積物からなる。主に極粗粒砂～細礫から構成され、貝殻片を多く含む。2004年の越波による砂嘴の破壊とWFの形成を示していると考えられる。

II：平板状～トラフ型斜交層理を示す堆積物からなる。主に中粒砂から構成され、きわめて分級がよく、貝殻片はほとんど含まない。2004～2013年の期間に表層堆積物が大潮高潮時の越波もしくは風によって再動され、WFの成長および砂嘴が復元することで形成された堆積物と考えられる。

：と同様、貝殻片を多く含む極粗粒砂～細礫からなり、上方に累重する平行～波状層理と陸方向に前進する斜交層理を示す。その内部は3つのユニットに分けることができる。2013年の越波による砂嘴の破壊とWFの形成を示している堆積物と考えられる。

：現在の砂嘴表層を覆う堆積物で、分級の

0. 台風前

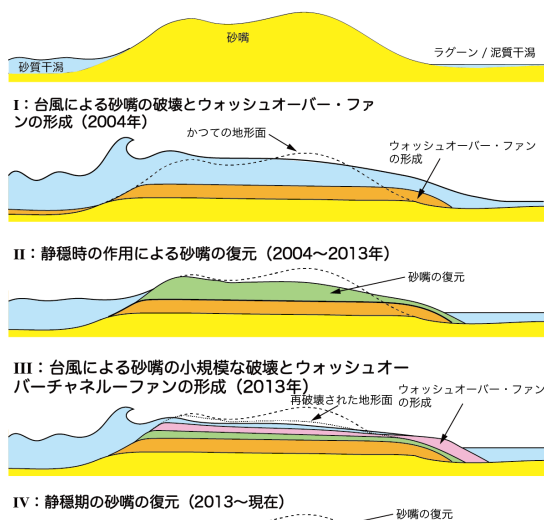


図1：櫛田川河口干潟における台風による砂嘴の破壊と再生過程。

よい中粒砂からなる。2013年以降に形成された堆積物と考えられる。

櫛田川河口の砂嘴では、暴浪時の越波による破壊と連続したWFの形成でその土台部分は復元され、その後の高潮時の波浪や風によって砂嘴の主体となる部分が徐々に成長していく過程が明らかとなった。これは砂嘴などの沿岸地形が暴浪などのイベント時のみではなく、静穏時にも堆積作用が継続することで、その地形発達が促されていることを示している。

三重県南伊勢町～大紀町における越波および津波堆積物

三重県南東部海岸地域では、南海トラフ地震による津波の来襲が想定されており、多くの津波堆積物研究が行われている。同時に台風の高頻度来襲地域でもあり、津波堆積物と高潮堆積物の識別が必要である。両者の識別の可能性を探るべく、予察的調査として、南伊勢町座佐池および大紀町芦浜池において調査を行った。

この地域は1944年の南海地震において津波被害を受けたが、それ以降には大規模な被害もたらされるような津波は来襲していない。しかし、海岸部にはこの数年以内に形成された越波による堆積物が認められることから、これらは台風起源の堆積物と考えられた。しかし、これらの堆積物中には、径が50cmを超えるような巨礫は含まれていないが、周辺には数多くの巨礫が認められる。このことから、巨礫はかつての津波の際に運搬されたもので、台風時には移動しないものであると考えられる。これら巨礫の挙動を検討することで、台風堆積物と津波堆積物の識別が可能を示唆している。

瀬戸内海沿岸の高潮堆積物

瀬戸内海地域は近年においても高潮被害を頻繁に受けており、高潮堆積物から来襲頻度や浸水域の想定などを検討するのに適していると考えられる。しかし、瀬戸内海沿岸は海岸平野が狭く、沿岸部がほとんど開発にさらされているため、堆積物が残りにくい状況にある。その中で、岡山県・広島県の島嶼部や山口県・福岡県・大分県沿岸部では一部に高潮堆積物が保存されていた。島嶼部の海跡湖では泥質堆積物中に、さらに均質な泥質堆積物が挟在されており、イベント性（おそらく高潮）堆積物と認定することができた。また、沿岸部ではウォッシュオーバー・ファンが認められた。しかし、これらはごく一部に過ぎず、瀬戸内海沿岸では高潮堆積物の保存は極めて悪いといえる。

北海道道北地域における高潮・越波堆積物
北海道の道北・道東地域では、冬期の低気圧の発達によりしばしば高潮が発生する。自然度の高い道北地域において高潮・越波堆積物を検討したところ、自然度の高い海岸部では高潮・越波は後背の砂丘部でその侵入が抑止されるのに対し、海岸侵食が進んでいる海岸部では砂丘後背にまで高潮・越波堆積物が

堆積していた。このことは、日本全国に広がる海岸侵食が高潮被害を増大させることを示しており、早急な海岸の保全が必要であることを示している。

(2) 西大阪平野の考古遺跡における高潮堆積物の堆積相

上町台地より西側の大阪平野は、縄文時代以降に形成された海岸低地である。この西大阪平野は、冬期の季節風によってできた砂州の成長によって形成されたと考えられているが、その内部堆積構造から砂州の形成過程を検討された例はほとんどない。大阪市浪速区恵美須遺跡および長橋遺跡において、古墳時代中期ごろの汀線堆積物が見いだされた。遺跡発掘現場のトレンチの東西断面（概ね当時の海-陸方向）において観察された汀線堆積物は、中礫～中粒砂からなる上部外浜-前浜堆積物と、それに累重する非常に分級の良い細粒～極細粒砂からなる後浜堆積物からなる。そのうち上部外浜-前浜堆積物は、全体に緩く沖方向に傾斜しており、それぞれが複雑に指交する4つの堆積相（堆積相A～D）から構成されている。

堆積相A：平行葉理もしくは楔状の斜層理からなる連続性の良い砂層～礫層。分級が良く、礫は沖方向に傾いたインプリケーションを示す。

堆積相B：沖方向に傾斜するセット高30cm程度の平板状斜層理を示すやや分級の悪い砂礫層。上部外浜-前浜堆積物の下半部に主に見られ、一部は堆積相Aから連続して、堆積相Bに変化することがある。

堆積相C：陸方向に傾斜するセット高20～40cmの平板状斜層理を示す砂礫層。葉理が上方に累重すると同時に、陸方向に細粒化する。堆積相Aに這い登るような産状を示し、上位の後浜堆積物に直接覆われる部分もある。調査断面においてもっとも多く出現する。

堆積相D：堆積相BおよびCの斜層理の間にレンズ状に挟まる小規模なトラフ型斜層理。流れの方向は概ね海岸線に平行な2方向である。

大阪市浪速区における古墳時代中期の汀線堆積物、その中でも上部外浜-前浜堆積物からは、ストーム後の波浪減衰期にもっとも堆積が進行したことが見てとれる。堆積物全体が示す緩やかな沖方向への傾斜は、当時の海岸線の傾斜を示しており、その連続性や分級、沖側に傾く礫のインプリケーションから、堆積相Aは遡上波によって形成されたものと考えられる。堆積相Aから連続し、沖方向に傾く斜層理を示す堆積相Bは前浜前面の段を示していると考えられる。堆積相Cはストームピーク時に沖合に運ばれた堆積物が、ストームが減衰していく過程で陸方向にバーを移動させながら形成された堆積物と見なされる。バーの成長と移動はストームの余波としてのうねりの過程で形成され、波浪の減衰過程に伴って堆積物を細粒化していったと考えられる。つまり、堆積相Cの平板状斜層

理の1セットは、1回のストームの減衰過程の中で形成していったことを物語っている。堆積相Dは、堆積相BおよびCに挟まれることから、バーの成長に伴って形成されたトラフ堆積物であろう。堆積相Cの平板状斜層理は堆積相Aを這い登り、後浜堆積物に覆われることもあることから、最終的にその多くは前浜に乗り上げ癒合し、砂州を成長させていったと考えられる。また、上部外浜-前浜堆積物からは堆積相Cがもっとも出現することから、西大阪平野を構成する砂州の多くは、ストーム時に成長したことが示唆される。内湾に位置する大阪湾では、静穏時の波浪ではほとんど堆積物が移動せず、ストーム時のみ堆積物が頻繁に移動したのであろう。堆積物からは、そのストームが台風が冬期の暴浪によるものか判別することはできない。しかし、現在の大阪湾の波浪状況を考えると、堆積物を移動させうる波長の長い波はすべてが台風時に発生したものであり、冬期の季節風によっては発生しない（表1）。このことから、主に台風による暴浪が西大阪平野の汀線付近の地形および地層形成に重要であったと考えられる。

表1：大阪湾での2003年～2012年の10年間における波長の長い波浪の来襲時期とその原因（大阪市港湾局（大阪港）および国土交通省（神戸港）よりデータ提供）

大阪港			
順位	日付	有義波周期（秒）	原因
1	2011年7月19日	15.0	台風1106号
2	2007年7月14日	13.0	台風0704号？
3	2003年8月8日	12.8	台風0310号
4	2004年8月29日	12.8	台風0416号
5	2004年10月20日	12.3	台風0423号
6	2004年6月21日	11.8	台風0406号
7	2012年10月16日	11.8	不明
8	2005年9月5日	11.6	台風0514号？
9	2012年9月17日	11.0	台風1216号
10	2012年8月26日	10.9	台風1215号？

神戸港			
順位	日付	有義波周期（秒）	原因
1	2004年8月30日	11.9	台風0416号
2	2007年7月15日	10.7	台風0704号
3	2005年9月5日	10.2	台風0514号？
4	2004年10月20日	10.0	台風0423号
5	2011年8月28日	10.0	不明
6	2005年7月18日	9.9	不明
7	2012年9月17日	9.9	台風1216号
8	2004年9月5日	9.8	台風0418号？
9	2003年8月8日	9.4	台風0310号
10	2012年8月27日	9.4	台風1215号？

(3) 津波堆積物との比較検討

2011年東北地方太平洋沖地震の津波堆積

物について現地（福島県南相馬市）及び文献調査を行い、現世海浜の高潮・越波堆積物との比較検討を行った。福島県南相馬市の津波堆積物は、保存されているのは海岸低地（主に水田）にのみ保存されており、沿岸部はほとんどが侵食域で津波堆積物は保存されていない、もしくは現在の平常時の作用によって置き換わっている。それに対し、高潮・越波堆積物は研究成果(1)で述べたように、越波堆積物と平常時（もしくは回復期）の作用による堆積物が交互に残されており、破局的な破壊のみが海岸部に作用しているのではないことがわかった。津波・台風の規模にもよるが、津波はその作用がピーク時のみに集中するのに対し、台風はピーク時から徐々に減衰していく作用が保存されている。台風はこの減衰期の作用によって地形の回復が急速に行われることが、津波との地形・堆積物の差異となっていることが予想された。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計7件)

小倉徹也, 2016, 福島県南相馬市小高川下流域における3.11津波堆積物の層相変化, 大阪文化財研究所 研究紀要, 第17号, 15-28. 査読あり

佐藤隆春・鈴木桂子・和田稯隆・中条武司, 2015, 紀伊半島北部の中新世石仏凝灰岩部層の火砕性堆積物. 地質学雑誌, 121(6), 173-178. 査読あり

中条武司・趙 哲済, 2014.10, 大阪の地下にある石ころの浜辺. Nature Study, 60(10), 137-138. 査読なし

中条武司, 2013.11, 地形図から作る自分の防災マップ. Nature Study, 59(11), 145. 査読なし

〔学会発表〕(計12件)

小倉徹也・中条武司, 2016.3.6, 福島県南相馬市小高川下流域における3.11津波堆積物の堆積状況と層相変化. 日本堆積学会2016年福岡大会プログラム・講演要旨, 76-77. 福岡大学.

中条武司・趙 哲済・小倉徹也, 2016.3.5, 越波による砂嘴の破壊と復元: 伊勢湾南西部榎田川河口の例. 日本堆積学会 2016年福岡大会プログラム・講演要旨, 33. 福岡大学.

Cho, C., Ichikawa, T., Matsuda, J., Nakajo, T., Tsujimoto, Y., Ogura, T., Takahashi, T. and Hirata, Y., 2015.7.31, Reconstruction of the paleogeography aided by GIS of the Uemachi Upland and its surrounding lowland, Osaka prefecture, Japan. Abstract, XIX INQUA (International Union for Quaternary Reserch) Congress, Nagoya, Japan, H32-02.

Nakajo, T. and Cho, C., 2015.7.29, Relationship between development of beach ridge system and human activities in the western Osaka Plain, Japan. Abstract, XIX INQUA (International Union for Quaternary Reserch) Congress, Nagoya, Japan, C06-P14.

中条武司・趙 哲済, 2015.4.25, 伊勢湾榎田川河口におけるウォッシュオーバー・ファンの内部構造. 日本堆積学会 2015年筑波大会プログラム・講演要旨, 96. 筑波大学.

〔図書〕(計5件)

大阪市立自然史博物館(編), 石井陽子・石田惣・中条武司ほか21人の共著, 2014, 第45回特別展「ネコと見つける都市の自然—家の中から公園さんぽ—」解説書「都市の自然2014」, 113p.

大阪市立自然史博物館(編), 石田惣・佐久間大輔・中条武司ほか9人の共著, 2013, 第44回特別展「いきもの いっぱい 大阪湾～フナムシからクジラまで～」解説書「大阪湾本」, 112p.

〔その他〕

アウトリーチ活動として、以下を実施した。
自然史オープンセミナー「台風の地層」(一般市民向け講演会)

日程: 2016年3月19日(土)

会場: 大阪市立自然史博物館

参加者数: 19人

ジオラボ「はぎ取り標本から地層の観察」(一般市民向けの室内での実習)

日時: 2016年3月12日(土)

会場: 大阪市立自然史博物館

参加者数: 74人

地層のはぎ取り実習(一般市民向け観察会)

日程: 2016年1月24日(日)

場所: 大阪市住吉区 大和川

参加者数: 30人

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中条 武司 (NAKAJO, Takeshi)

大阪市立自然史博物館・学芸員

研究者番号: 80321917

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

趙 哲済 (CHO, Chuljae)

大阪文化財研究所・調査課・総括研究員

研究者番号: 20344369

小倉 徹也 (OGURA, Tetsuya)

大阪文化財研究所・調査課・主任学芸員

研究者番号: 80344357