

3. 2. 過去の活動履歴を把握するための地質学的調査

3. 2. 1. 仙台・石巻平野における地質調査

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

仙台・石巻平野における地質調査に基づく過去の活動履歴

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人産業技術総合研究所 活断層研究センター 海溝型地震履歴研究チーム	チームリーダー	岡村行信	yokamura@aist.go.jp
	副センター長	佐竹健治	
	研究員	宍倉正展	
	研究員	澤井祐紀	
	研究員	藤原 治	
	研究員	小松原純子	
	テクニカルスタッフ	Than Tin Aung	

(c) 業務の目的

仙台平野および石巻平野において、過去約 6000 年間に平野内に浸入した津波の履歴と浸水範囲を、津波堆積物の調査から明らかにするとともに、沿岸域の地殻変動を明らかにして、地震と地殻変動との関係解明を試みる。それらの成果を基に、津波の波源モデルを構築し、平野への浸水範囲を説明出来る津波のシミュレーションを行う。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 17 年度：

仙台・石巻平野における過去の巨大津波の浸水域と地震に関連した地殻変動の履歴を地質学的証拠から明らかにするため、仙台平野中南部の地形判読を行い、それにより認定した堤間湿地内の測線沿いにピートサンプラー及びジオスライサー用いて試料採取を行った。この調査により、西暦 869 年に発生した貞観津波の遡上距離と津波襲来当時の海岸線の位置を復元し、貞観の津波は当時の海岸線から少なくとも 3km は遡上していることを明らかにした。また、貞観津波を示す津波堆積物より古い地層中に、少なくとも 2 層の津波堆積物が広域に観察されることから、貞観津波以前にも巨大な津波が本地域に襲来していたと推定した。最も古い津波堆積物の直下から得られた炭素片の放射性炭素年代測定値は、3980—3820 cal yr BP を示した。仙台平野と同様に浜堤列が発達する石巻平野では、貞観の津波に相当する津波堆積物は観察されなかったが、過去の海水準を

示す前浜堆積物の高度分布から、過去 100 年間に観測されている沈降現象は、数千年の時間スケールでは継続していないと推定した。

2) 平成 18 年度：

仙台平野北部（仙台市、名取市）と石巻平野の地形判読を行い、それにより選定された測線沿いにボーリングを行った。この調査により、仙台平野北部および石巻平野における貞観津波の遡上距離と津波襲来時の海岸線の位置を復元した。また、昨年度の仙台平野中南部における成果とあわせて、仙台平野から石巻平野全域における津波遡上範囲を復元した。また、貞観津波を示す津波堆積物より古い地層から、少なくとも 2 層の津波堆積物が広域に観察された。亘理町北部の鳥の海では、珪藻化石群集の解析から過去環境変化および地殻変動を復元することを試みたが、過去 500 年間に於いて顕著な環境変動を検出することができなかった。石巻平野での地形測量と海浜堆積物の高度分布の調査では、過去 3000 年間で急速な地震隆起の証拠は見つからなかった。一方、平野の西部が東部に対して 2m 程度高く、平野地下の伏在断層の活動の影響が推定される。

3) 平成 19 年度：

前年度までに行った津波堆積物調査の補完調査を実施し、津波堆積物の広域的な対比を行う。また地殻変動を明らかにすることを目的とした地質調査を行う。また、津波シミュレーションを行うため、東北地方の海底及び沿岸域の地形データの整備を行うとともに、貞観の津波を再現できる津波波源モデルの構築を試みる。

4) 平成 20 年度：

仙台平野の完新世地殻変動の履歴を解明するための追加調査を実施し、それらの結果を考慮して津波波源モデルを改善する。

5) 平成 21 年度：

東北地方沿岸域の貞観津波を再現する津波波源モデルを構築するとともに、平野内への津波浸水シミュレーションを実施する。

(e) 平成 18 年度業務目的

平成 17 年度に調査に着手した仙台平野南部、仙台平野中部、石巻平野において、埋没地形や津波堆積物の詳細な調査を引き続き行う。採取方法は、掘り式ピートサンプラー（長さ 2m、直径 2cm 程度のパイプ状の柱状堆積物採取装置。未固結堆積物の分布域において人力で地面に突き刺すことによって、大きな穴を掘ることなく、地表下 1-2m の堆積物を連続して採取できる）および小型ジオスライサーを用いる。この調査により、西暦 869 年に発生した貞観津波等による津波堆積物の分布と津波来襲時の海岸線などの地形との関係を明らかにする。また、仙台平野北部において同様の調査に着手する。

(2) 平成 18 年度の成果

(a) 業務の要約

仙台平野北部（仙台市、名取市）と石巻平野の地形判読を行い、それにより選定された測線沿いにボーリングを行った。この調査により、仙台平野北部および石巻平野における貞観津波の遡上距離と津波襲来時の海岸線の位置を復元した。また、昨年度の仙台平野中南部における成果とあわせて、仙台平野から石巻平野全域における津波遡上範囲を復元した。また、貞観津波を示す津波堆積物より古い地層から、少なくとも2層の津波堆積物が広域に観察された。亘理町北部の鳥の海では、珪藻化石群集の解析から過去の環境変化および地殻変動を復元することを試みたが、過去500年間において顕著な環境変動を検出することができなかった。石巻平野での地形測量と海浜堆積物の高度分布の調査では、過去3000年間で急速な地震隆起の証拠は見つからなかった。一方、平野の西部が東部に対して2m程度高く、平野地下の伏在断層の活動の影響が推定される。

(b) 業務の実施方法

空中写真の地形判読によって平野の浜堤列および堤間湿地を識別し、調査に適した地域を選定した。手掘り式ピートサンプラー（長さ2m、直径2cm程度のパイプ状の柱状堆積物採取装置。地表下1-2mの未固結堆積物を連続して採取できる。）および小型ジオスライサーを用いて、堤間湿地において地表下3m程度までの堆積物を採取し、その層相観察や広域での対比から、かつての海面を示す海浜堆積物や泥炭層中に挟まれる火山灰および砂層を認定した。特に西暦869年に発生した貞観津波およびそれ以前の巨大津波によって運ばれた砂層（以下、「津波堆積物」と呼ぶ）の分布域を明らかにし、同時に津波が襲来した当時の海岸線の位置を推定して浸水履歴を検討した。また、トータルステーションやGPSを用いた地形測量から、海浜堆積物の高度分布を明らかにし、過去数千年間における地殻変動を推定した。津波堆積物の年代や海浜堆積物の離水年代は、歴史時代の降下火山灰（十和田a火山灰）の分布と放射性炭素年代測定法を用いて決定した。

(c) 業務の成果

<仙台平野>

仙台平野北部において、空中写真判読で確認された浜堤列と堤間湿地（砂丘列の間の低地）を横断するように測線を設け（図1）、測線沿いにおける十和田a火山灰層、粗粒～極細粒砂層、泥炭層の詳細な分布を明らかにした。また名取市においても、昨年度の調査を補足するために同様の調査を行った。亘理町の鳥の海においては、フローター上から泥質堆積物を採取した。採取した堆積物中に見られた砂層は、鉱物組成が石英質であること、海生微細藻類を多く含むことから過去の津波によって形成された津波堆積物と推定した。特に、十和田a火山灰直下の津波堆積物は、火山灰の降下年代から貞観津波によって形成されたものと考えた。各地域における調査結果の詳細は以下のとおりである。



図1 仙台平野の浜堤分布（黄色）及び調査測線

[仙台市]

設置した測線沿いの合計 96 地点で試料の採取を行った結果、現在の海岸線より約 2km の地点まで貞観津波による砂質の津波堆積物を確認することができた (図 2)。貞観津波襲来時の海岸線の位置は現在の海岸線より 0.5km 程度内陸に存在していたと推定されることから、貞観津波の遡上距離は少なくとも 1.5km と考えられる (現在の仙台東部有料道路付近) (図 3)。最も内陸にある調査地点では、貞観津波によるものも含めて 4 層の津波堆積物が観察されることから、貞観津波以前にも巨大な津波が本地域を襲来していたと考えられる。放射性炭素年代測定の結果から、貞観以前の巨大津波は約 2000-2500 年前、2500-3000 年前に襲来したことが推定された。3000 年前より以前の津波堆積物の年代は、適切な試料が得られなかったために推定できなかった。

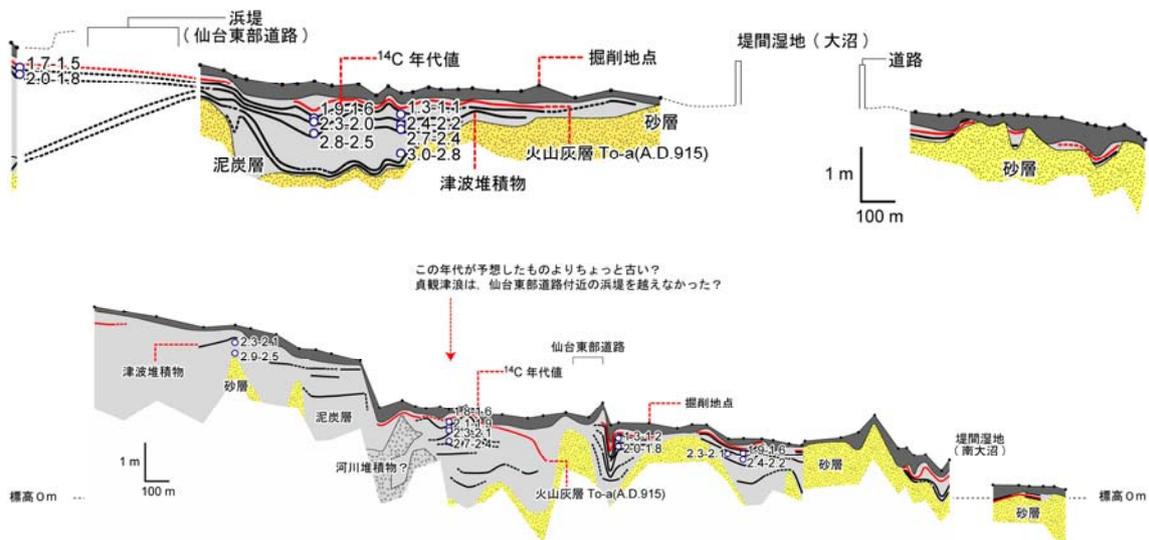


図 2 仙台平野北部の地質断面図と津波堆積物。

上：大沼測線、下：南長沼一霞の目測線

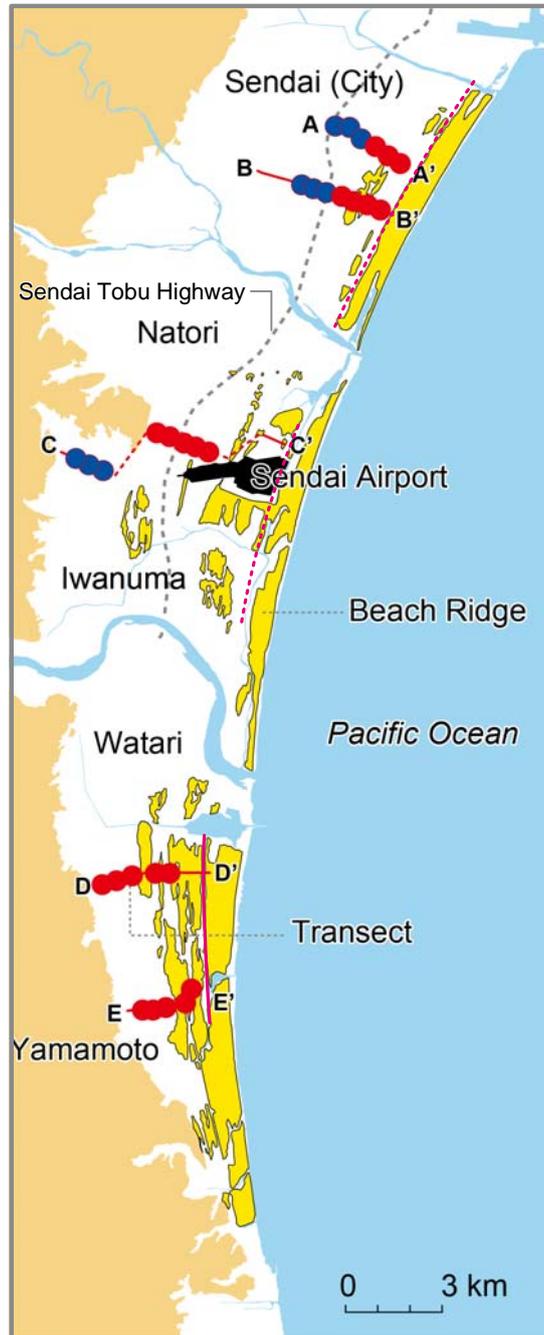


図3 貞観の津波堆積物の分布域（赤丸）と当時の海岸線（ピンクの実線及び点線）。青丸は貞観の津波堆積物の可能性があるが断定できない砂層の分布域。

仙台市では、貞観津波起源の可能性のある津波堆積物が、仙台東部有料道路より内陸の地点からも見つかっている（図3）。今後炭素年代測定などを多く行うことによって、推定される貞観津波の浸水域がより内陸にまで到達する可能性がある。

[名取市]

昨年度行った調査を補足する目的で、設置した測線沿いの合計 31 地点で試料の採取を行った。その結果、現在の海岸線より約 5km の地点まで貞観津波による砂質の津波堆積物を連続的に確認することができた (図 4)。この結果は、昨年度までの結果と調和的である。本地域では、貞観以前の津波堆積物が 2 層確認され、そのうち 1 層の放射性炭素年代は 2200-2800 年前の値を示した。

現在の海岸線より 5km 以上内陸の地点においては、泥炭層中に連続的な無機質泥層を確認することができたが、それらが津波堆積の一部であるかどうかを明らかにすることはできなかった。

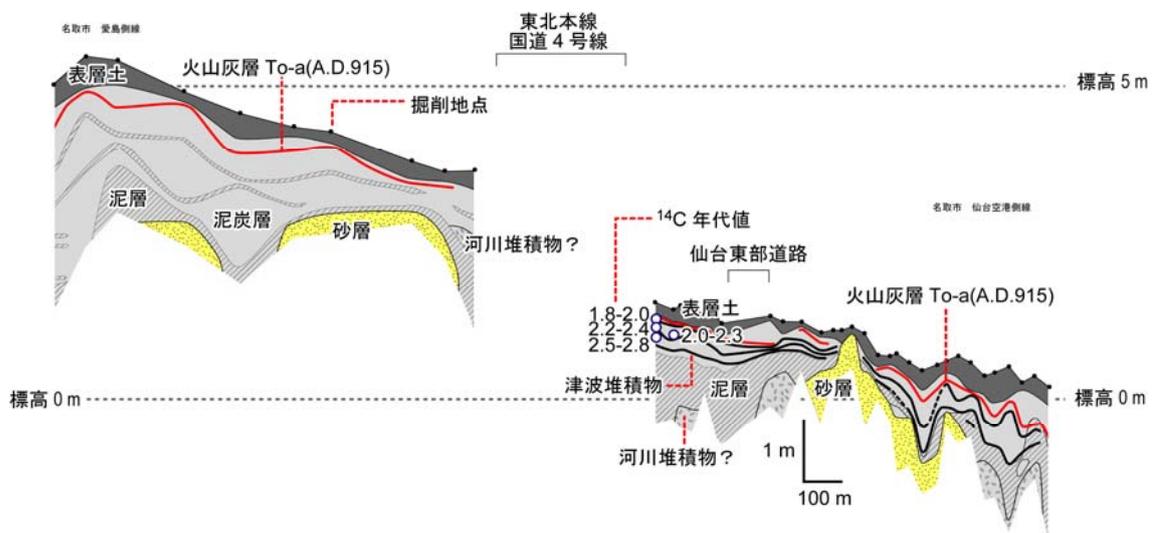


図 4 名取市の地質断面図と津波堆積物の分布

[亙理町]

仙台平野南部の亙理町では、汽水湖である「鳥の海」において連続柱状堆積物を採取した (図 5)。採取した連続堆積物中の珪藻化石を観察した結果、全長 2m のコア全体を通して、淡水生 *Fragilariaceae* 科珪藻種、淡水生 *Pinnularia* 属珪藻種、淡水生種 *Synedra ulna*、汽水生種 *Pseudopodosira kosugii*、汽水-海水生種 *Tabularia fasciculata* が優占する混合群集を形成していることが明らかになった (図 6)。生育域の重複しないこれらの分類群が混在することは多量の異地性遺骸が鳥の海に流入していることを示しており、阿武隈川および鏡川排水路の影響が非常に強いと推定された。放射性炭素年代測定の結果から、このような環境は過去 500 年間継続していたと考えられた。ここでの調査目的は、珪藻化石群集から古水深変化を推定し、そこから地殻変動を復元することであった。しかしながら、以上のような成果から、生物指標を使つての古水深・地殻変動史復元は鳥の海においては難しいという結論に達した。

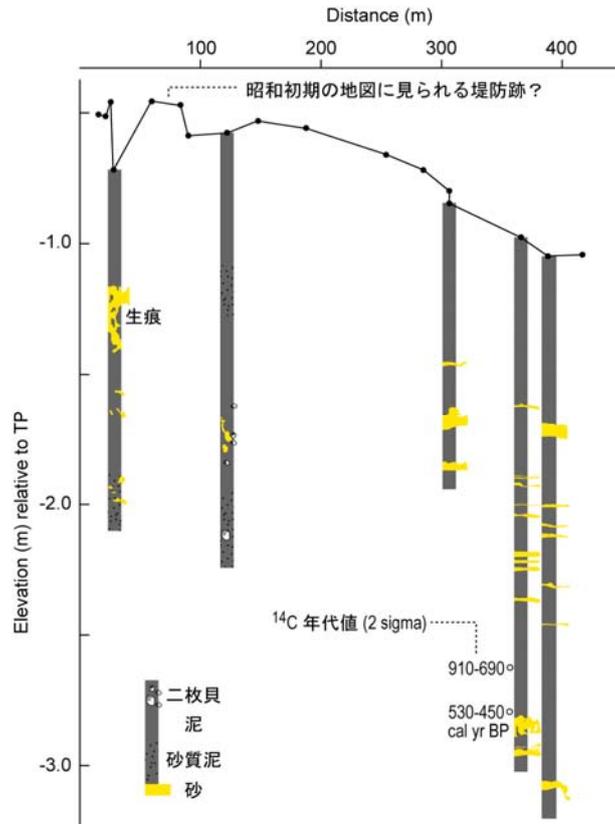


図5 鳥の海で採取したジオスライサー試料の柱状図。

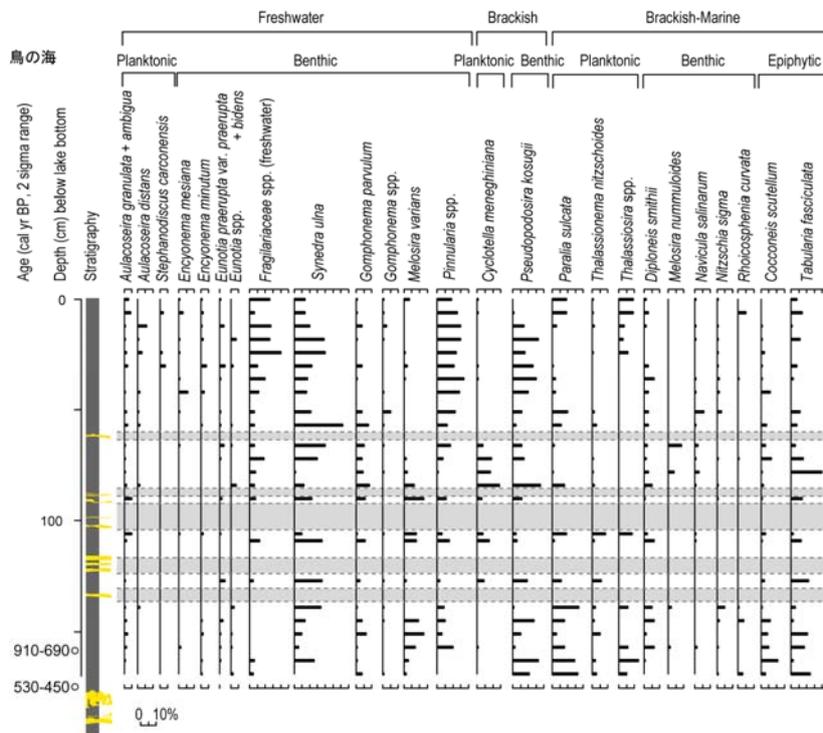


図6 鳥の海試料の珪藻化石分析結果。図5の右から2番目の試料

<石巻平野>

空中写真判読によって石巻平野の浜堤列と堤間湿地を詳細に微地形区分し、過去の海岸線の位置を抽出した(図7)。それらを横切るように、海岸線に直交方向に設けた4つの測線(Y測線、O測線、A測線、WA測線)と、浜堤に沿って平野を横断する測線(SR測線)において掘削調査を行った。特にY測線、SR測線、WA測線では、全地点でハンディジオスライサーを用いて掘削し、堆積構造の観察から、平行葉理の有無などに基づいて潮間帯で堆積した海浜堆積物の認定を行った。またO測線、A測線ではおもにピートサンプラーを用いた掘削から泥炭層中の砂層の分布を追った。砂層は仙台平野と同様の特徴を持ち、津波堆積物と判断される。また、十和田 a 火山灰も広域で検出され、その直下の砂層は貞観津波によって形成されたものと考えた。各測線における調査結果の詳細は以下のとおりである。

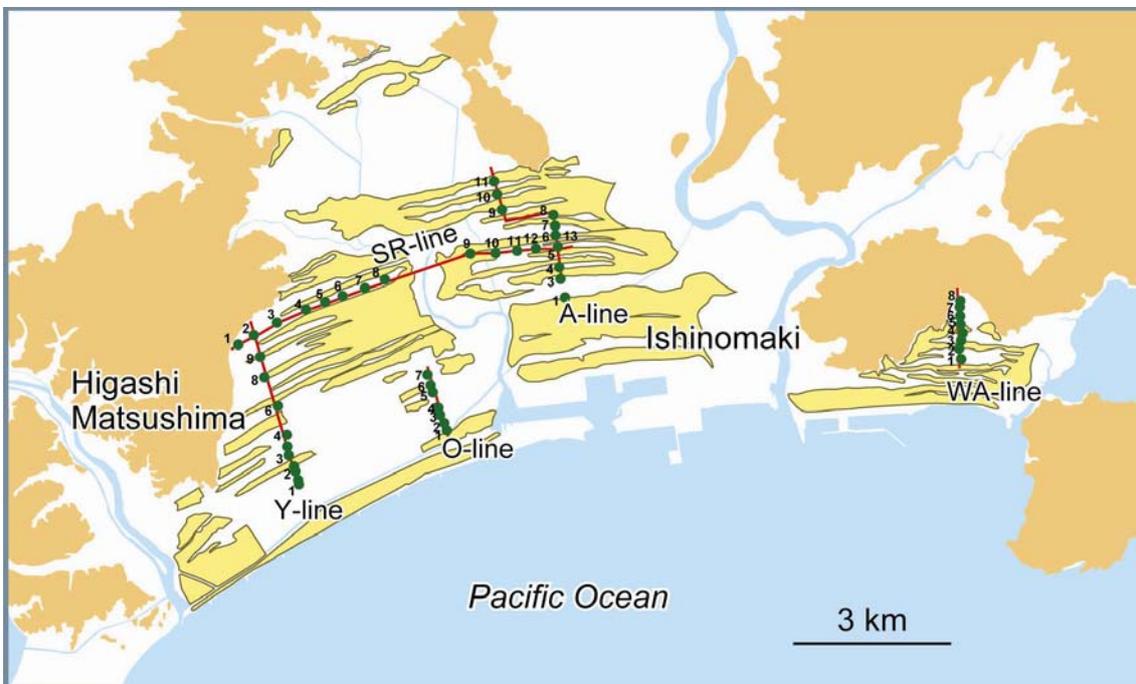


図7 石巻平野の浜堤の分布(黄色)と調査測線

[Y測線(平野西部)]

石巻平野西部に設けたY測線は、現海岸線から約1km内陸の地点から、約4km内陸の地点までの南北方向に延びる測線で、11地点でハンディジオスライサーによる柱状試料を採取した(図8)。特に海側のY-1~4の地点で密に掘削し、十和田aテフラの有無とその上下の砂層を確認し、貞観津波襲来時の海岸線の位置が、Y-1.5付近(現海岸線より1.3km内陸)にあったことを明らかにした。また、もっとも海側のY-1では、貞観津波より後に堆積した2回のイベント砂層を確認した。そのうち下位の砂層は、放射性炭素年代からAD1210~AD1410の間に堆積したと考えられる。

貞観津波と考えられる砂層は、Y-3で明瞭であるが、Y-3.5~9では確認できなかった。

しかし、Y-10 (SR-2 と兼ねる) では、3 枚の砂層が確認され、後述する SR 測線の放射性炭素年代との対比から、最上位の砂層が貞観津波の可能性が高い。すなわちこの測線沿いでは、貞観津波の浸水域は、当時の海岸線から少なくとも 3km 内陸まで及んだ可能性がある。また、下位の 2 枚の砂層は、ともに 2700 年前頃から 2300 年前頃間に堆積した可能性が高い。

トータルステーションによる測量で得た Y 測線の地形プロファイルを見ると、内陸側の標高 3m 付近から海側へ徐々に高度を下げており、もっとも海側の Y-1 付近で標高約 0.6m である。平行葉理を伴う砂層の上限高度の分布も、多少の不連続はあるが、地形と同様に緩やかに海側へ高度を下げているように見え、1m を超えるような急激な地盤の変動は示さない。ただし、貞観津波の発生時期を含む Y-2.5 から Y-1 の間の近接した区間では、やや急な高度の変化見られ、今後、さらに海側での調査が求められる。

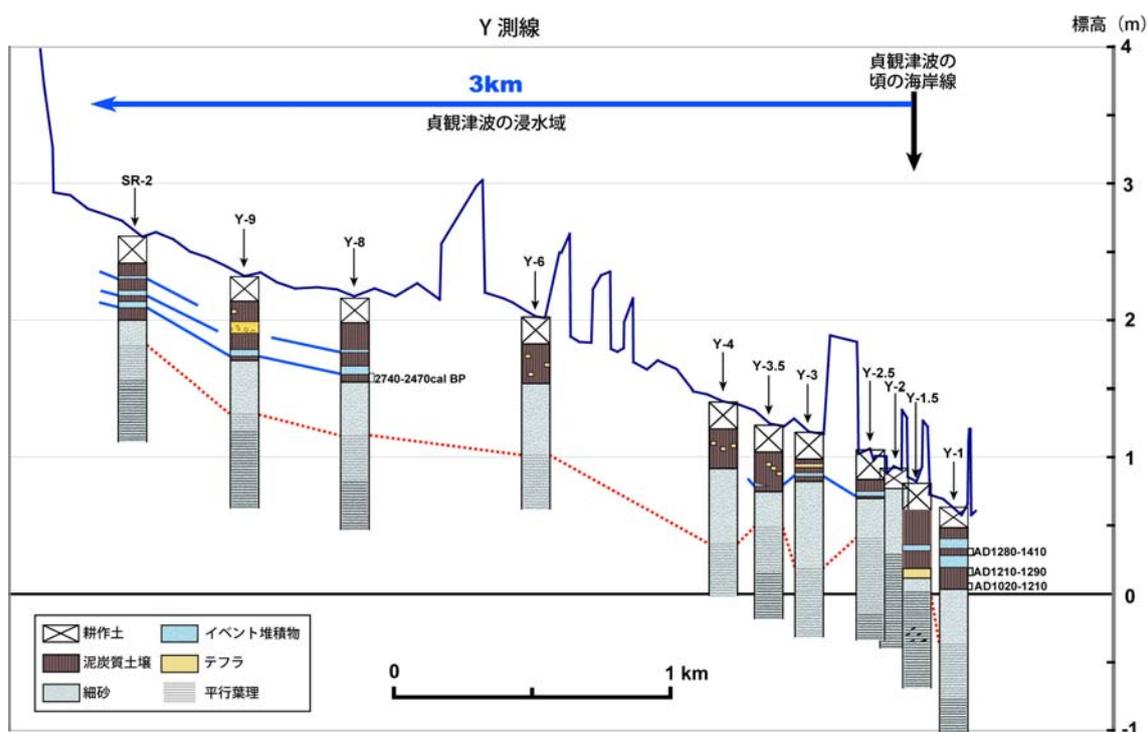


図 8 Y 測線の柱状図

[0 測線 (平野中央部海岸側)]

0 測線は石巻平野の中央部の海側に位置し、現海岸線より約 0.9km 内陸から約 2.1km 内陸までの南北方向のやや短い測線である。おもにピートサンプラーの掘削により 7 地点で柱状記載を行った (図 9)。Y 測線と同様に十和田 a テフラの有無とその上下の砂層を確認し、貞観津波襲来時の海岸線の位置が、0-4 背後の浜堤付近 (現海岸線より 1.3km 内陸) にあったことを明らかにした。また、0-4 では、十和田 a テフラの上位にイベント砂層を確認し、放射性炭素年代から AD1160~1270 より後に堆積したことが明らかになった。これは Y-1 に

おける下位のイベント砂層に対比できる可能性が高い。

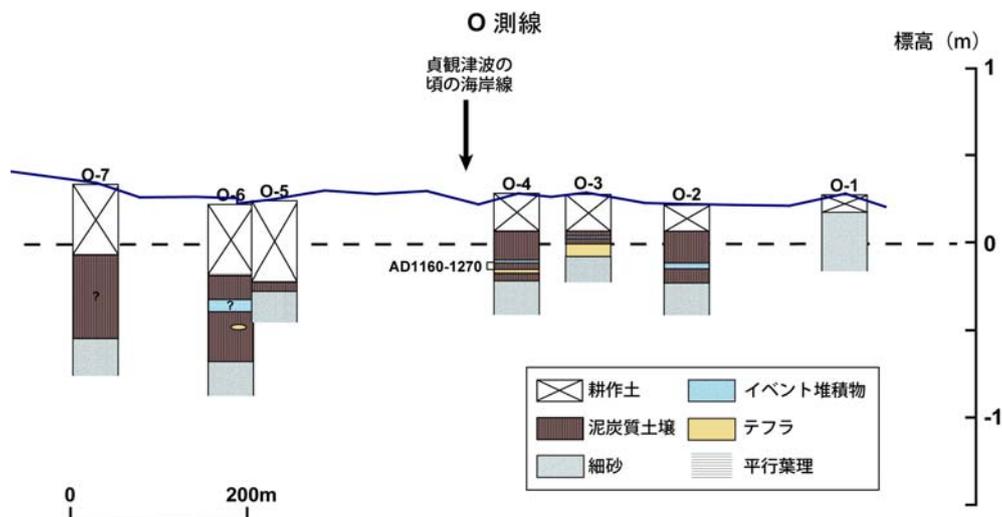


図9 O測線の柱状図

[A 測線 (平野東部)]

石巻平野東部は大部分が市街地化されているため、現海岸線から約 2.7km 内陸の地点より約 5.3km 内陸までオフセットした形で A 測線を設定した。このため、貞観津波襲来時の海岸線は不明瞭である。しかしながら 10 地点で得た柱状試料から、貞観津波を含む 3 枚のイベント砂層を確認した (図 10)。貞観津波は現海岸線から約 3.8km 内陸の A-5 (SR-13 を兼ねる) まで浸水した可能性がある。

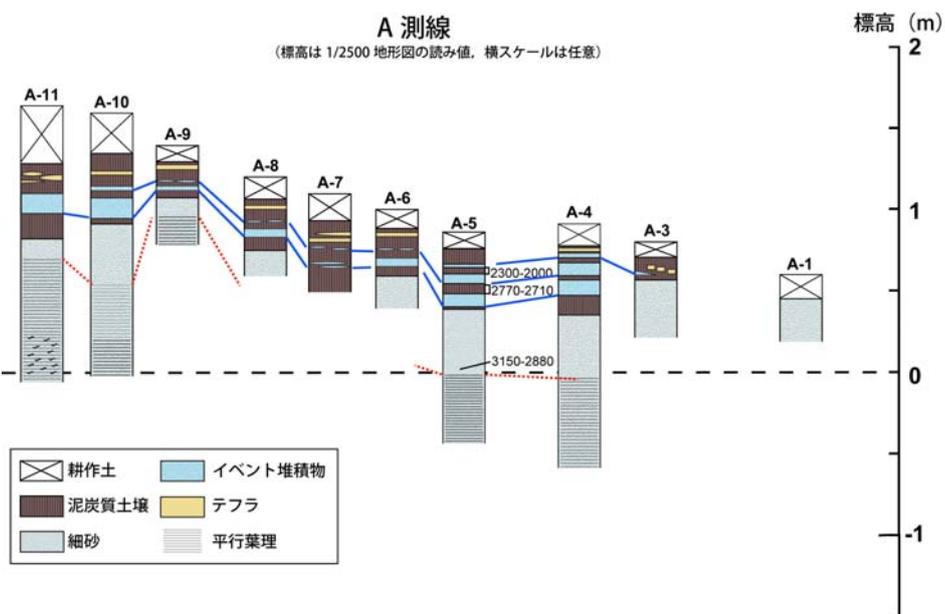


図10 A測線の柱状図

[SR 測線 (平野横断)]

SR 測線は他の測線と異なり、現海岸線から約 4km 内陸において、浜堤に沿って東西方向に設定した測線である。13 地点でのハンディジオスライサー掘削によれば、全ての地点で 1~3 枚のイベント砂層を確認した (図 11)。最上位のものは十和田 a テフラとの層位や放射性炭素年代から貞観津波と判断され、下位の 2 枚は放射性炭素年代からともに 2700 年前頃から 2300 年前頃の間には堆積した可能性が高い。また、海浜堆積物中の年代やそれを覆う泥炭層基底の年代から、この測線沿いの浜堤は 3000 年前頃に離水したと考えられる。

地形プロファイルを見ると、平野西端で標高約 3m であるが、東へ高度を下げ、定川右岸で標高約 1m になる。定川左岸の平野東部では、標高 0.7~0.9m でほぼフラットである。海浜堆積物における平行葉理の上限高度の分布も、ほぼ同様の傾向を示しており、東西の高度差は 2m 程度である。測線沿いの一連の海浜堆積物は、ほぼ同じ高度で堆積したものであるから、このような東西の高度差は、離水後の局所的な地殻変動を反映している可能性がある。

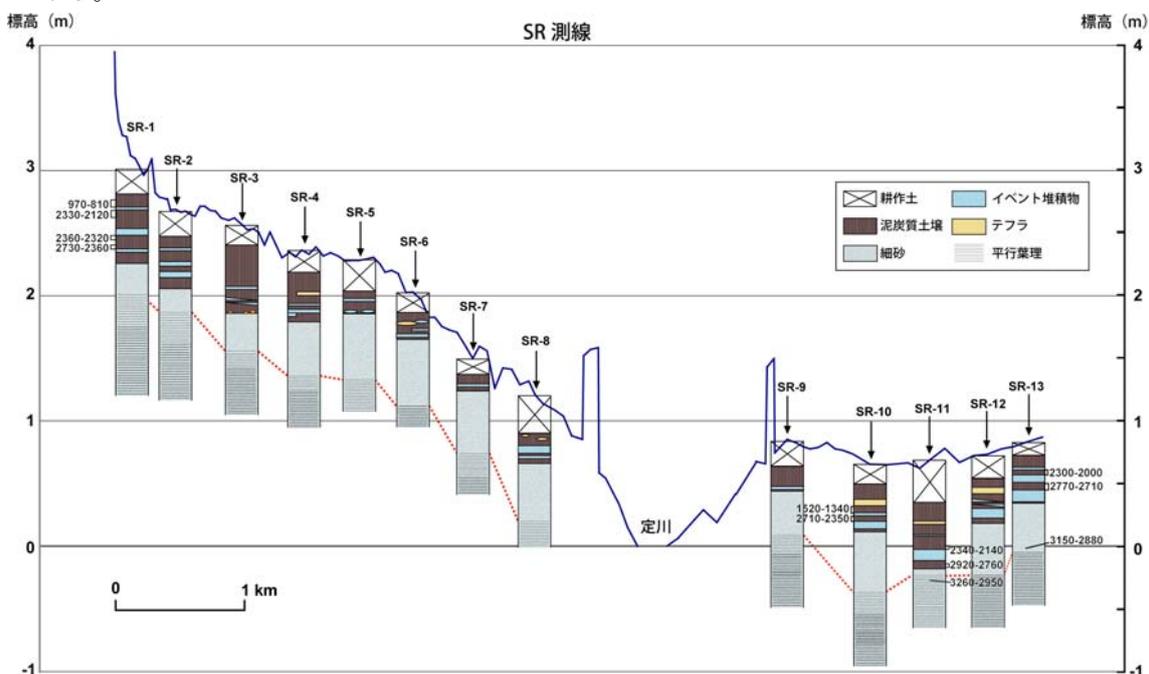


図 11 SR 測線の柱状図

[WA 測線 (渡波地区)]

WA 測線は、旧北上川を挟んで石巻平野の東側に独立して存在する小低地 (渡波地区) において設定した測線で、現海岸線より約 0.9km 内陸から約 2.2km 内陸までの南北方向のやや短い測線である。8 地点でのハンディジオスライサー掘削により、4 地点で貞観津波と考えられる砂層を確認した (図 12)。当時の海岸線が特定できていないが、もっとも海側の WA-1 から WA-7 まで少なくとも 1km 以上浸水していたことは確実である。また、WA-1 では、十和田 a テフラの上位にもイベント砂層を確認し、放射性炭素年代から AD1310~1440 より後に堆積したことが明らかになった。これは O-4 や Y-1 における下位のイベント砂層に対

比できる可能性がある。

WA 測線の地形プロファイルを見ると、WA-8 の標高 2m 付近から WA-1 の標高約 1.2m までゆるやかに高度を下げている。海浜堆積物の平行葉理の上限高度も同様の傾向を示す。

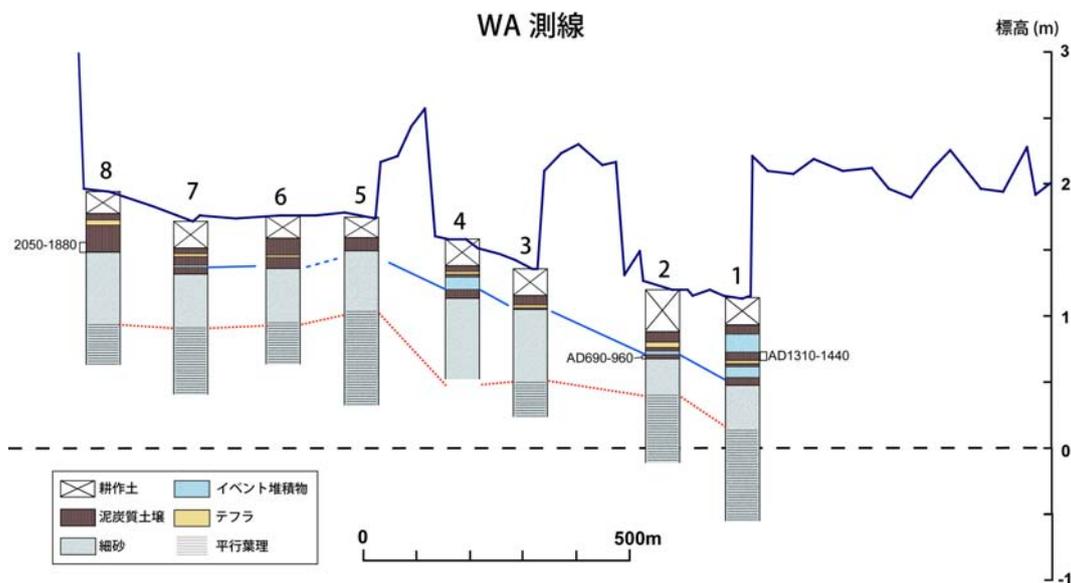


図 12 WA 測線の柱状図

(d) 結論ならびに今後の課題

<仙台平野>

平成 18 年度の調査では、仙台平野北部における貞観津波の遡上距離を復元することができた。この結果と昨年度までの結果をあわせることにより、仙台平野全域における貞観津波の遡上距離を把握することができた。これらの遡上距離は、貞観津波が襲来した当時の海岸線の位置を推定することによって、より正確に求めることができた。以上の調査結果と昨年度の調査結果を合わせて、貞観津波、約 2000 年前の津波、約 3000 年前の津波に伴う津波堆積物の分布域を明らかにし、当時の海岸線位置を推定した (図 2、13、14)。過去 3000 年間に仙台平野は拡大し続けてきたが、その間にも少なくとも 3 回の巨大津波が押し寄せ、当時の海岸線から 2km 以上内陸まで達したと推定される。

仙台市および名取市では、津波堆積物の対比が十分ではないため、堆積物から推定される浸水域を過小評価している可能性がある。今後は、放射性炭素年代測定を多く行うことにより、地点間の対比を精度良く行っていく必要がある。また、貞観の地震に伴う地殻変動は地質学的には確認できておらず、それ以降の地殻変動を明らかにすることが重要である。



図 13 約 2000 年前の津波堆積物の分布と当時の海岸線（記号は図 3 に同じ）

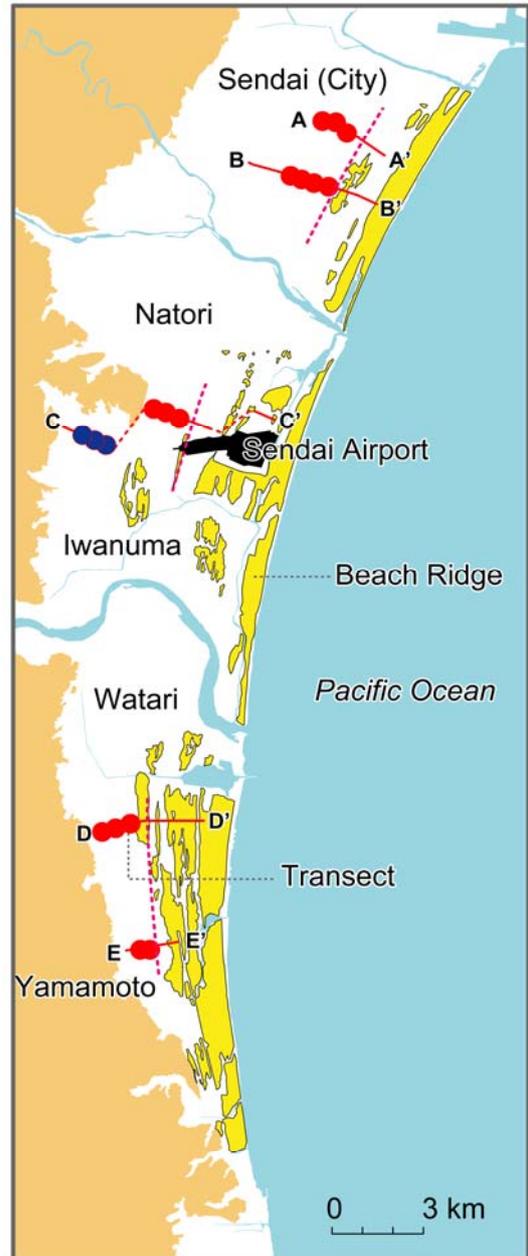


図 14 約 3000 年前の津波堆積物の分布と当時の海岸線（記号は図 3 に同じ）

<石巻平野>

石巻平野においても、貞観津波で堆積した砂層の分布と当時の海岸線位置の推定から、遡上距離を復元することができた。貞観津波は当時の海岸線から少なくとも 3km 程度内陸まで浸水したと考えられる (図 15)。また、それ以前には 2700 年前から 2300 年前頃の間には 2 回の津波と思われるイベントが発生していたと推定される (図 16)。

地形や海浜堆積物の高度分布は、海岸線に直交する方向で見ると、平野奥の 3000 年前頃の離水浜堤から現海岸に向かって徐々に下がっていることが明らかになった (図 8、10)。これは相対的に海面が徐々に下がっていたことを示す。貞観津波前後の期間でやや急速な隆起があった可能性もあるが、測地による最近の沈降傾向との矛盾を解消するような大きい地震隆起の明確な証拠は今のところ見つかっていない。また、海岸線に平行な方向で見ると、平野西部が東部に対して隆起しているように見える。2003 年宮城県北部地震でも平野の西部が東部に対して最大 15cm 程度隆起しており、地下の伏在断層の活動との関係が注目される。

今後は貞観津波より前のイベントの遡上距離の正確な復元を行うことと、平野の海側での掘削調査から貞観津波前後、および過去 1000 年以内の海浜堆積物の高度分布を詳細に明らかにし、最近の沈降傾向との関係を明確にする必要がある。また、海溝型地震の変動と内陸の伏在断層の変動との分離も今後の課題としてあげられる。

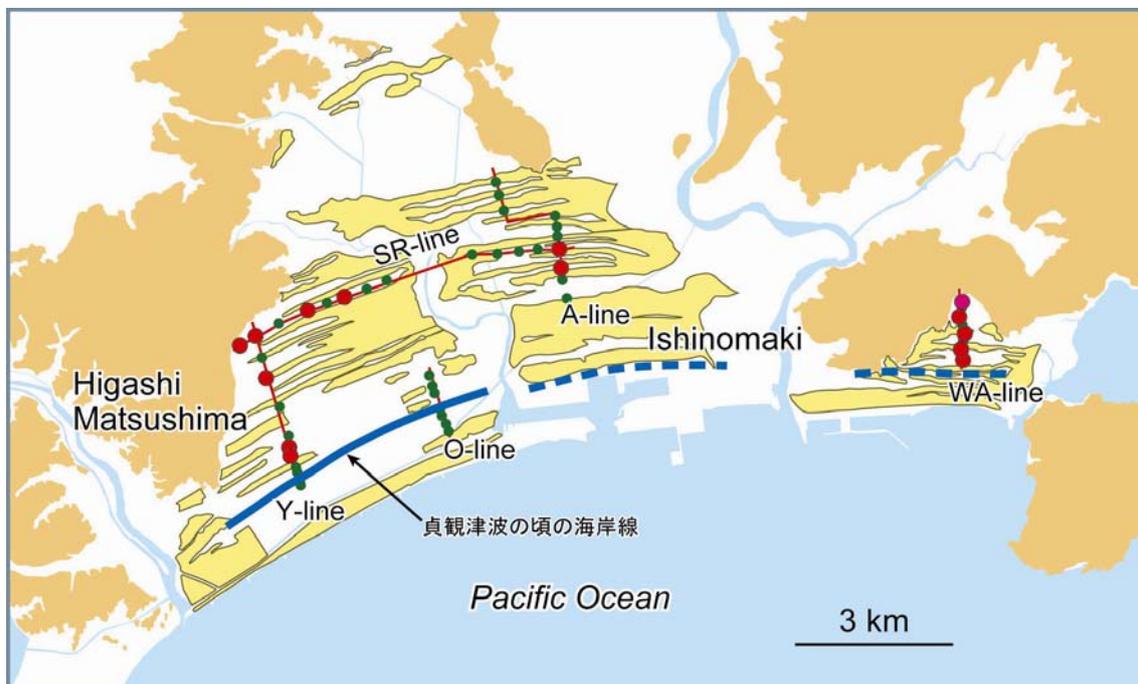


図 15 石巻平野における貞観の津波堆積物の分布域 (赤丸) と当時の海岸線 (青線)

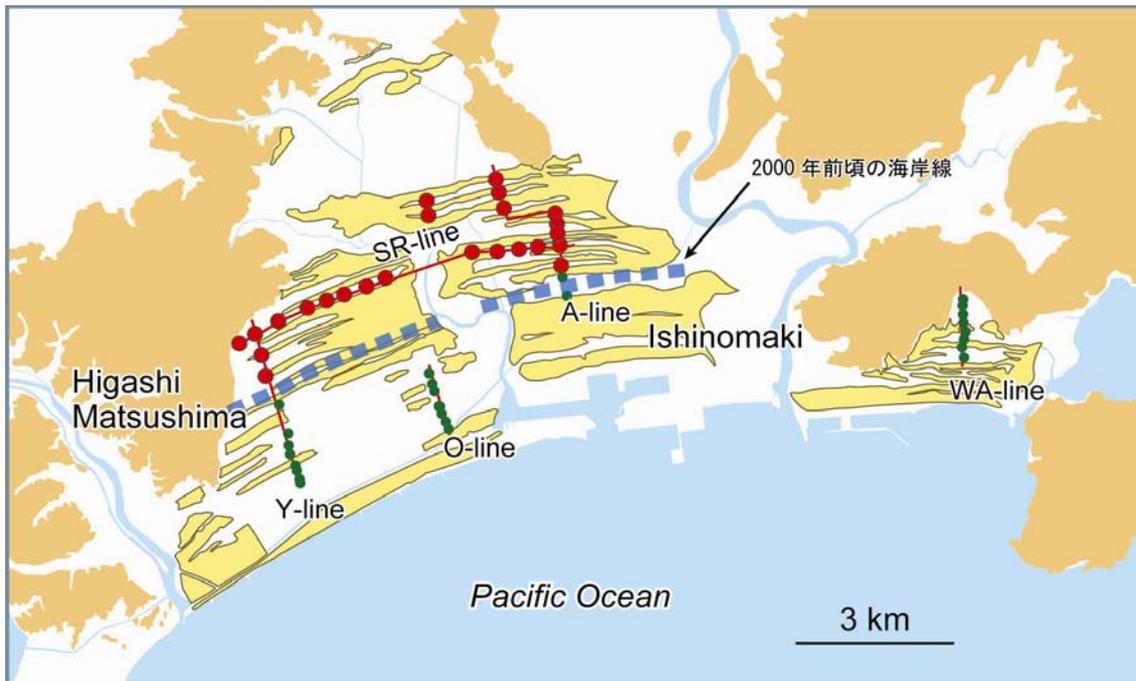


図 16 石巻平野における 2000-3000 年前の津波堆積物の分布域 (赤丸) と当時の海岸線 (青線)

(e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
澤井祐紀・岡村行信・宍倉正展・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤井雄士郎	仙台平野の堆積物に記録された歴史時代の巨大津波－1611 年慶長津波と 869 年貞観津波の浸水域－	地質ニュース	平成 18 年 8 月
澤井祐紀・宍倉正展・岡村行信・Than Tin Aung・松浦旅人・高田圭太・藤井雄士郎・佐竹健治	仙台平野を襲った巨大津波の浸水履歴	日本地球惑星科学連合 2006 年大会	平成 18 年 5 月 14 日
宍倉正展・澤井祐紀・岡村行信・鎌滝孝信・藤原 治・藤井雄士郎・Than Tin Aung	石巻平野における浜堤列および津波堆積物調査	日本地球惑星科学連合 2006 年大会	平成 18 年 5 月 14 日

澤井祐紀・宍倉正展・岡村行信・ Than Tin Aung・松浦旅人	History of tsunami inundations in Sendai Plain, detected from coastal geology	2006 AOGS 3rd annual meeting	平成 18 年 6 月 11 日
澤井祐紀・宍倉正展・岡村行信・ 松浦旅人・Than Tin Aung・小松原 純子・藤井雄士郎	堆積物から復元した宮 城県中南部における貞 観津波の浸水域	歴史地震研究 会	平成 18 年 9 月

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 19 年度業務計画案

仙台平野及び石巻平野において過去 2 年間で明らかになってきた津波堆積物の分布を説明する津波シミュレーションに着手する。19 年度は、海岸地形データを整備すると共に、単純な波源モデルを用いて、2 つの海岸平野での津波浸水距離を説明する波源位置の推定を試みる。また、石巻平野において地形・地質調査を実施し、最近数十年間で観察される沈降運動と、より長期的な時間スケールでほとんど地殻変動が認められない事実との矛盾の解明を試みる。