

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 9 日現在

機関番号：81307

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2016

課題番号：16K13294

研究課題名(和文) 砂押川・七北田川における現生汽水種・海生種珪藻の遡上限界

研究課題名(英文) The Limits of Run-Up Modern-day Marine and Brackish Diatoms

研究代表者

柳澤 和明 (Yanagisawa, Kazuaki)

東北歴史博物館・学芸部・上席・主任研究員

研究者番号：90754557

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、陸奥国府多賀城跡への貞観津波の襲来を検証するため、現生の海生種・汽水種珪藻の遡上限界を確認することにある。珪藻研究者と5月8日大潮日、7月14日若潮日に砂押川河口から多賀城跡近辺まで16地点で試料水を採取し、珪藻分析を行った。その結果、海生種珪藻の遡上限界は河口から4 kmで、河口から6 km上流でも検出された多賀城跡城外のイベント堆積物は津波に由来する可能性が高いこと、海水遡上と海生種珪藻の輸送は一致し、海生種珪藻の存在は海水遡上の指標となりうるが、汽水種珪藻は生育範囲が広く遡上限界の推定や指標には不向きであること、河口から2 kmが海生種珪藻の生育限界と判明した。

研究成果の概要(英文)：This study aims to clarify the distance that marine and brackish planktonic diatoms are carried by the tide, for reveal the attack of the Jogan Tsunami in 869 to the Mutsu Kokufu Tagajo. We collected samples at 16 points on Sunaoshi River from the estuary to the Mutsu Kokufu Tagajo on 8 May (the spring tide is the highest tide in a year) and 14 July (the day of the Jogan Tsunami occurred) 2016. The conclusions of this study as follows. 1) Marine diatoms were carried to 4 km from the estuary by the tide. Thus, the event deposits found at 6 km from the estuary could have been carried by the tsunami. 2) The distance of carried marine diatoms corresponded with the marine waters. Marine diatoms may be used as an indicator of marine water in the river. 3) It was inferred that marine diatoms could only grow up to 2 km from the estuary by the distribution of the diatoms.

研究分野：歴史考古学

キーワード：貞観地震・津波 多賀城跡 海生種珪藻 汽水種珪藻 遡上限界 生育限界 砂押川 イベント堆積物

1. 研究開始当初の背景

(1) 史料からうかがえる陸奥国府多賀城跡での貞観地震津波被害

貞観地震・津波の根本史料である『日本三代実録』貞観 11 年(869)5 月 26 日条からは、陸奥国府多賀城の「城下」に夜間に津波が押し寄せ、約千人が溺死したと読み取れる〔柳澤和明 2012¹⁾『日本三代実録』より知られる貞観十一年(八六九)陸奥国巨大地震・津波の被害と復興』『歴史』第 119 輯、27~58 頁、東北史学会〕。しかし、これまで行われてきた陸奥国府多賀城跡城外の発掘調査では、なかなか貞観津波被害の実態が不明確であった。

(2) 発掘調査で検出されたイベント堆積物

東日本大震災後に行われた陸奥国府多賀城跡城外の大規模な復興調査により、海生種珪藻を含む 9 世紀中頃のイベント堆積物の砂層が 4 箇所発見され、それ以前に検出された同時期のイベント堆積物と併せると 7 箇所のイベント堆積物が検出された〔宮城県教育委員会 2014²⁾山王遺跡 多賀前地区第 4 次発掘調査報告書 〔宮城県文化財調査報告書第 235 集〕〕。

粒度分析の結果、これらは河川に由来する洪水堆積物の砂層であることが判明した。そして、珪藻分析の結果、海生種珪藻が少量含まれ、より下流域に生息する汽水種珪藻も含まれていたことから、河川を遡上した貞観地震津波堆積物である可能性が出てきた。

(3) 基礎的研究の欠如

山王遺跡多賀前地区で検出された上記のイベント堆積物に含まれていた海生種珪藻や、より下流域に生息する汽水種珪藻の存在理由を合理的に解釈するためには、現生の海生種・汽水種珪藻の遡上限界を確認しておく必要がある。しかし、こうした研究はこれまで行われていないようであり、基礎的研究が不足しているのが現状であった。

2. 研究の目的

陸奥国府多賀城跡に貞観津波が押し寄せたかどうかということは、貞観地震・津波の規模の評価にも繋がる重要問題である。東日本大震災の発生以降に検出された海生種珪藻を含む 9 世紀中頃のイベント堆積物の評価はまだ十分に定まっていない。イベント堆積物を含めた珪藻相の層的变化の解明が必要だが、この点は平成 27~31 年度まで多賀城跡城外で行われる大規模圃場整備復興事業に伴う発掘調査で期待できる。

これに対し、河川中・下流域における現生の海生種・汽水種珪藻の遡上限界についての調査・研究は、これまで行われていない未知の研究領域である。本研究は、砂押川で検出されたイベント堆積物について、それが津波堆積物であるか洪水堆積物であるかどうかを評価・解釈する際の基礎データ

を提供する。さらに、貞観地震・津波の規模の評価や他の河川流域でのイベント堆積物研究にも参考となる基礎的研究となる。

3. 研究の方法

陸奥国府多賀城跡への貞観津波の襲来を検証するための基礎データとして、潮位が一年で最も高い春の 5 月 8 日大潮日、及び貞観地震発生日と同じ 7 月 14 日の若潮日に、砂押川河口から多賀城跡近辺流域まで試料水を採取し、現生の海生種・汽水種珪藻がどの程度河川遡上するか確認する。

(1) 調査方法

研究対象 地質年代や塩分濃度の指標となる浮遊珪藻を対象とし、海や河口域から海水とともに遡上する海生種・汽水種、上流から海に下る淡水種を調査する。

調査河川 多賀城跡のすぐ西側を流れる砂押川。申請時には七北田川も調査対象としたが、本科学研究費採択にあたり大幅に減額されたため、調査対象は砂押川のみとした。

調査日 干満の差が最も大きくなる春の大潮(5 月 8 日)及び貞観地震発生日と同じ 7 月若潮日(7 月 14 日)に実施する。

調査地点 河口から 6 km 上流に高さ約 1m の可動堰があり、調査日には農業用水を取り入れるために可動堰が上がっていて、これよりも上流へは海水の影響が及ばないことが確実である。したがって、この可動堰すぐ上の地点を 1 地点選定するが、可動堰より下流の河口、仙台塩釜港までの 15 地点、計 16 地点を選定する(第 1 図)。採取地点間の距離は平均 400 m となる。



第 1 図 珪藻分析用試料水採取地点

試料水採取 すべての採取地点では、珪藻分析用にロープ紐を付けたバケツによって表層水 1 斗採取する。また、水深のある河口の P 2 地点から河口から 3.3 km 上流の八幡橋 P 9 地点まで 8 地点のうち、試料水採取の安全性が保たれる P 4・7~9 地点の 4 地点については、北原式 B 号採取器により底層水も 1 斗採取する。採取した試料水は遮光ボトルに入れ、ルゴール固定液で直ちに固定し、研究室に持ち帰る。

7 月 14 日若潮日の試料採取は表層のみと

し、7月若潮日での海水の影響は5月8日大潮日より小さいと考えられるため、採取地点をより少なく限定的に行うことにした。

物理・化学的分析 採取地点において測器により水温、塩分、pH、電気伝導度、透視度を測定し、海水の遡上状況を実測する。

珪藻試料分析 1 Lの遮光ボトルに入れ、ルゴール固定液で固定して研究室に持ち帰った試料水計 32 点を逆濾過方式で2～3週間かけて濃縮し、50 mlの遠濾管に保存して、珪藻分析用試料とする。

珪藻種の同定、組成比、基礎的分析は、国内で実績のある2社から相見積もりを取り、見積もり金額が安かったパリーノサーベイ株式会社に業務委託した。

また、研究計画の立案から珪藻分析用の試料採取、珪藻種組成の解析には、珪藻研究者の渡辺剛氏（国立研究開発法人水産研究・教育機構東北水産研究所）に協力を仰いだ。

遡上境界の解明

本研究の目的は、珪藻の種組成と物理・化学的要因を解析して河川における珪藻の分布を解明し、生態学及び分類学的見地から現生海生種・汽水種珪藻の遡上境界を解明することである。

そのため、業務委託した採取試料水の珪藻分析結果をもとに、研究協力者の渡辺剛氏が群集構造分析を行った。これは多次元尺度法（NMDS）による解析で、データはウイスコンシン、距離はBray-Curtisを用いた。グループ分け（クラスタリング）はk-means法を用い、その検定にはノンパラメトリック多変量分散分析（PERMANOVA）で決定係数 r^2 と F 値が最も高く、p 値が低いグループ分けを選択した。そして、グループ間の比較には、ブレイ・カーティスの非類似性を使用して、2つのグループ間で種を判別する手法である類似度百分率（SIMPER）を用いた。さらに群集構造分析結果をもとに、海生種・汽水種珪藻の生育限界と遡上境界について分析した。

なお、渡辺剛氏の分析には、戦略的創造研究推進事業（CREST）の「Digital DNA chipによる生物多様性評価と環境予測法の開発」（研究代表者：五條堀孝）を用いた。

(2) 試料採取日程計画の立案

第1回目の試料水採取計画

4月20日大潮日、河口から5.5 km上流の砂押鴻池橋観測点における10分間隔水位変動データを「宮城県河川流域情報システム」（WEB公開）の取得して、その1か月後、第1回目、春の大潮日（5月8日）の試料水採取計画を立案した。

4月20日塩釜港2:35満潮31 cmの2時間前、河口5.5 km上流では0:30分に水位が干潮時よりも3 cm上昇し初め、1時間前の1:20に13 cmと大きく上昇した。1時間20分後でも水位の下げ幅は小さく、干潮から満潮に向けた水位の上昇は、河口

から5.5 km上流でも1時間前より顕著となる。5月8日大潮の3:42満潮55 cmに際しての試料採取は、満潮2時間前の1:40頃より河口から6.0 km上流の新市川橋P15地点から開始して問題ないと判断した。水位も満潮から1時間20分過ぎても大きく低下していないので、上流から下流に向けた試料採取には十分時間的余裕がある、と判断した。

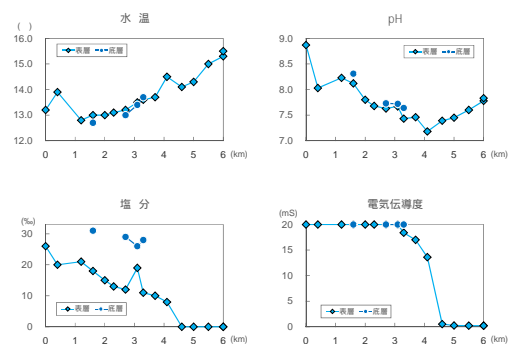
第2回目の試料水採取計画

と同様に、第2回目の試料水採取日（7月14日若潮日）の1か月前、6月15日若潮日の夜23:57満潮39 cmに伴う砂押鴻池橋観測点（河口から5.5 km上流）での影響をみると、満潮の2時間27分前、21:30から潮位の変動がみられた。そこで、7月14日20:30（満潮2時間14分前）にP14（鴻池橋）から採取開始し、P2までを24:00（所用時間3時間30分）に終了するように試料採取すれば、塩釜港でも高潮位の時間帯なので、試料採取に関する問題は無い、と判断した。

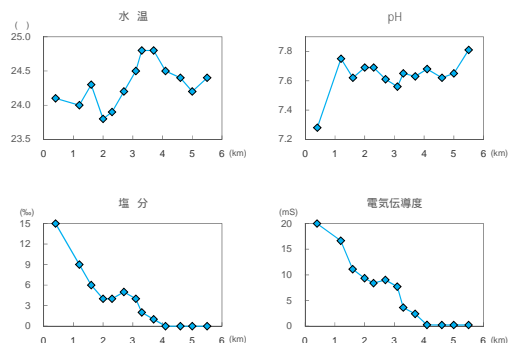
4. 研究成果

(1) 物理・科学的分析による海水の遡上状況の把握

第1回目の採取試料（5月8日大潮日）海水遡上は4 km付近に限界があることが判明した（第2図）。



第2図 5月8日大潮日の採取試料における水温、pH、塩分、電気伝導度の測定結果
第2回目の採取試料（7月14日若潮日）海水遡上は5月大潮日に比べ、1 km程下流の3 km付近に限界があることが判明

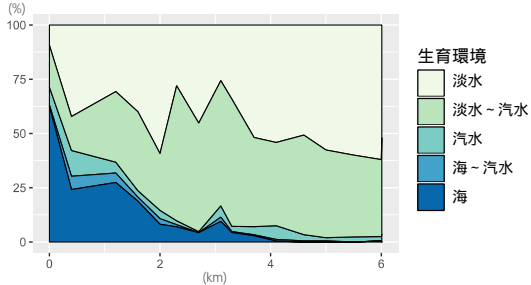


した（第3図）。
第3図 7月14日若潮日の採取試料における水温、pH、塩分、電気伝導度の測定結果

（2）珪藻分析による各採取地点における珪藻の種組成

第1回目の採取試料（5月8日大潮日）

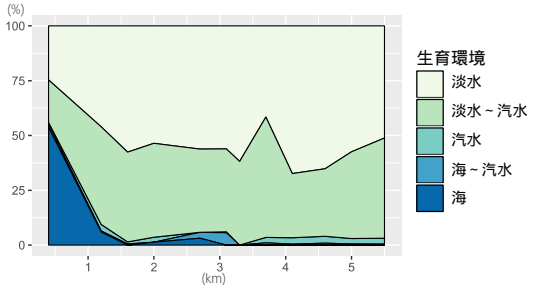
珪藻分析結果によれば、河口から4.1 kmの地点から上流では、海生種珪藻が出現せず（第4図）、塩分が急低下する地点（第2図）と一致した。



第4図 5月8日大潮日の表層（0m）での生育環境に基づく珪藻組成

第2回目の採取試料（7月14日若潮日）

珪藻分析結果によれば、河口から3.1 kmの地点から上流では、海生種珪藻が出現せず（第5図）、塩分が急低下する地点（第3図）と一致した。



第5図 7月14日若潮日表層（0m）での生育環境に基づく珪藻組成

（3）珪藻分析による各採取地点における珪藻の種組成の解明と群集構造分析

第1回目の採取試料（5月8日大潮日）

群集分析の結果、採取試料は以下の3グループに分類された（第6図）。

グループ1（緑）：P6からP16まで、河口から2 kmより上流の表層グループ。

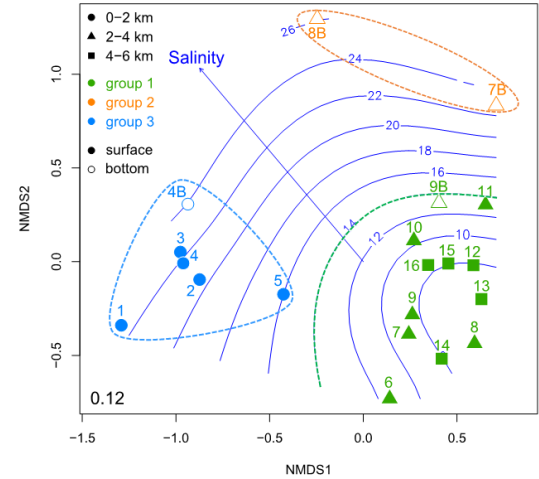
グループ2（オレンジ）：河口から約3 km付近の底層のグループ。

グループ3（青）：P1からP5まで、河口から2 kmまでの下流表層グループ

第6図では、NMDSに塩分を線形フィッティングしている。ベクトル（青色の矢印）は1軸と2軸に対する塩分方向、等高線と数値は塩分を示す。この図で右下のグループ1付近で塩分が低く、左上に向かって塩分が高くなる。グループ1は全て塩分14以下、グループ2は塩分22-26、グループ3は塩分16-24にプロットされ、全ての環境要因でフィッティングしている。

グループ間の比較を行った結果、珪藻群集は2 km付近で組成が変化することが判明した（第1表）。下流（<2 km）のグループ3は海水浮遊性、上流（>2 km）のグル

ープ1は淡水浮遊性が卓越し、淡水～汽水種は広範囲に出現する。中間（3 km）底層の群集（グループ2）は、高塩分に淡水珪藻の「不一致」がみられた。ここでは普段は低塩分で淡水底生性珪藻が生育する。大潮満潮時は高塩分になるが、海生種珪藻は輸送されないことがわかった（第2表）。



第6図 群集構造分析結果（5月採取試料）

分類群	生態情報		寄与率		殻数の平均値	
	生育環境	生活型	%	順位	group 3 (<2 km)	group 1 (>2 km)
<i>Chaetoceros</i> spp.	海水	浮遊	6.7	(1)	25.3	1.6
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	淡水-汽水	浮遊	5.0	(3)	15.5	13.1
<i>Skeletonema</i> spp.	海水	浮遊	4.3	(5)	17.5	2.3
<i>Navicula cryptotenella</i>	淡水	底生	2.2	(9)	8.0	1.2
<i>Luticola mutica</i>	淡水	底生	2.2	(10)	8.0	0.4
<i>Nitzschia palea</i>	淡水	底生	5.3	(2)	4.7	21.3
<i>Cyclostephanos</i> aff. <i>Invisitatus</i>	淡水	浮遊	4.4	(4)	6.3	13.8
<i>Navicula gregaria</i>	淡水-汽水	底生	3.8	(6)	0.5	13.6
<i>Asterionella formosa</i>	淡水	浮遊	2.9	(7)	3.2	10.3
<i>Navicula halophila</i>	淡水-汽水	底生	2.7	(8)	11.0	13.6

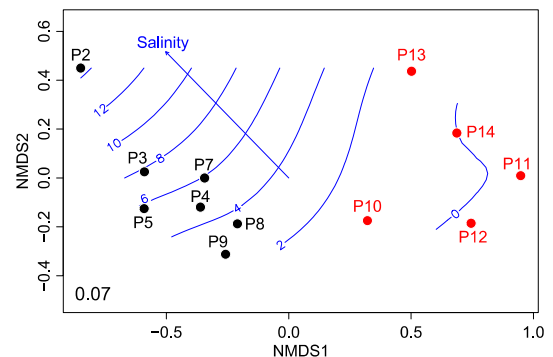
第1表 グループ3（青色）とグループ1（緑色）の種組成の比較

環境	水域	Group 3	Group 1	Group 2
		下流 (< 2 km)	上流 (> 2 km)	中間 (3 km)
水層	表層	表層	底層	
塩分	高	低	高	
生育環境	海-汽水	淡水-汽水	淡水	
生活型	浮遊	浮遊	底生	
珪藻	分類群	<i>Chaetoceros</i> spp. <i>Skeletonema</i> spp.	<i>Nit. palea</i> <i>Cyclus</i> aff. <i>invisitatus</i> <i>Ast. formosa</i>	<i>Nit. sigmoides</i> <i>Fra. aff. nanana</i> <i>Pla. lanceolatum</i>
		<i>Cyclot. meneghiniana</i> <i>Nav. halophila</i>		

第2表 3グループの環境および、珪藻の優占種の組成と生態

第8図 グループ間の比較（まとめ）

第2回目の採取試料（7月14日若潮日）



第7図 群集構造分析結果（7月採取試料）

群集構造分析から（第7図）塩分2以上で海から0.4-3.3 km（P2-P9、黒色）のグループ1と、塩分2未満で海から3.7-5.5 km（P10-P14、赤色）のグループ2に分類された。そして、SIMPERによるグループ間比較分析によれば、グループ1は主に汽水底生珪藻、グループ2は主に淡水浮遊珪藻からなることがわかった。

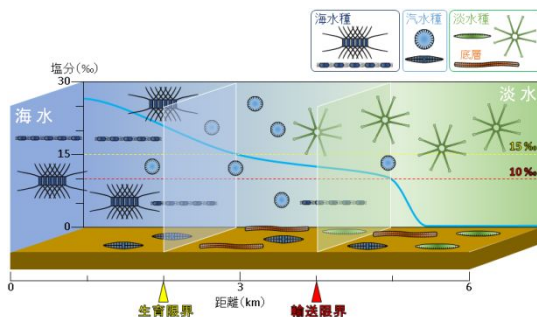
（4）砂押川における海生種、汽水種珪藻の生育限界、遡上境界の解明

生育限界と大潮日の遡上境界

満潮時は海水遡上が強まり、港から2 km付近まで塩分14‰程度で推移する。ここまでは海生種を中心とした群集がみられ、2 kmより上流から淡水種を中心とした群集に切り替わる。群集構造の変化から、2 km付近が海生種の生育限界と推定された。

また、上流に向かうにつれて徐々に塩分が低下する。4 km付近で塩分10‰程度だが、ここで急激に低下することから、4 km付近が物理的な海水の遡上境界であることが判明し、この付近が同時に海生種珪藻の輸送限界でもあることが推定された。そして、4 km以上上流部では完全に淡水～汽水種の群集となる。また、汽水種珪藻は分布範囲が広く、生育限界や輸送限界の推定は難しいことが判明した。

第8図に大潮満潮時の海生種・汽水種珪藻の遡上について、模式図を示す。左から右に塩釜港から6 km上流の新市川橋の堰までを示す。



第8図 大潮満潮時の模式図

干潮時の遡上境界

干潮時は満潮時より海水遡上は弱いと考えられ、河口付近まで淡水の影響が及び、淡水～汽水生珪藻が分布する。群集組成の解析結果から、港から3 km付近では淡水底生珪藻が生育していると推定された。

（5）まとめ

浮遊性海生種珪藻の輸送（遡上）限界は、河口から4 kmである。このことから河口から6 km上流でも検出された陸奥国府多賀城跡城外のイベント堆積物に含まれる海生種珪藻は、津波に由来する可能性が高いと判断される。

海水の遡上と浮遊性海生種珪藻の輸送は一致し、海生種珪藻の存在は海水遡上の指標となりうる。これに対し、汽水種珪藻は

生育範囲が広く遡上境界の推定や指標には不向きである。

海生種珪藻群集は河口から2 kmで淡水群集へと変化する。このことから、河口から2 kmが海生種珪藻の生育限界と推測された。

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4件）

渡辺剛・柳澤和明 2016.12.31 「日本珪藻学会第36回研究集会（山形2016）プログラム 口頭発表（O-04）宮城県砂押川における汽水・海産珪藻の遡上に関する研究」『DIATOM』32（日本珪藻学会）p.67

渡辺剛・柳澤和明 2016.10.22 「口頭発表（O-04）宮城県砂押川における汽水・海産珪藻の遡上に関する研究」『日本珪藻学会第36回研究集会（山形2016）発表要旨集』p.8

柳澤和明 2016.9.13 「貞観地震・津波の発生時刻、潮汐の影響と記事の特異性」『第33回歴史地震研究会（大槌大会）研究発表要旨集』p.23

相原淳一・高橋守克・柳澤和明 2016.5.15 「東日本大震災津波と貞観津波における浸水域に関する調査 多賀城城下とその周辺を中心として」『宮城考古学』第18号、pp.111-128

〔学会発表〕（計2件）

渡辺剛・柳澤和明 2016.10.22 「宮城県砂押川における汽水・海産珪藻の遡上に関する研究」日本珪藻学会 第36回研究集会（山形2016）山形県山形市

柳澤和明 2016.9.12 「貞観地震・津波の発生時刻、潮汐の影響と記事の特異性」第33回歴史地震研究会（大槌大会）岩手県上閉伊郡大槌町

〔図書〕（計1件）

柳澤和明 2017.1.31 「貞観地震・津波に学ぶ 陸奥国はいかに復興を遂げたか」伊藤毅・Federico SCARONI・松田法子編著『危機と都市』pp.82-95（左右社）

〔その他〕ホームページ等（計1件）

柳澤和明 2016.4.1 「貞観地震・津波の発生時刻、潮汐の影響と記事の特性に関する一考察」『東北歴史博物館研究紀要』17、pp.31-42；<http://www.thm.pref.miyagi.jp/issue/index.php> で論文 PDF 公開

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳澤 和明（Yanagisawa Kazuaki）

東北歴史博物館学芸部・上席主任研究員
研究者番号：90754557

(2) 研究協力者

渡辺 剛（Watanabe Tsuyoshi）

国立研究開発法人水産研究・教育機構
東北水産研究所・JST-CREST 博士研究員