

古地図を用いた長期海浜変形の評価

EVALUATING OF LONG-TERM SHORELINE CHANGE BY USING OLD MAPS

高橋元気¹・田中 仁²・松富英夫³・泉 典洋⁴

Genki TAKAHASHI, Hitoshi TANAKA, Hideo MATSUTOMI, Norihiro IZUMI

¹ 学生会員 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

² フェロー会員 工博 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

³ 正会員 工博 秋田大学 工学資源学部 (〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1)

⁴ 正会員 Ph.D. 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

Old maps, such as *Inoh Maps* and other historical ones, are prospective which might be used for determining the changes of coastal geographical features in the past. It is expected that long-term geographical changes can be known provided that the accuracy of an old map is satisfactorily high. In the present study, the changes of geographical features in Nobiru Coast, Miyagi Prefecture and Matsukawaura Lagoon, Fukushima Prefecture are examined by comparing historical and latest maps. Furthermore, long-term sediment budget analysis is carried out for the Nobiru Coast.

Key Words : *Old maps, Long-term shoreline changes, Long-term sediment transport, Nobiru Coast, Matsukawaura Lagoon*

1. はじめに

砂浜の保全を行うためには、土砂の供給源である河川や漂砂の連続する海域での土砂移動量を評価し、保全対象である海浜の成り立ちや将来起こるであろう変化を予測し、対策を立てることが必要である。そのためにも、海岸地形の変化過程を知ることが、海岸工学における諸問題を解決するという観点からも重要になってくる。

そこで本研究では、各種の古地図を用いることにより、従来よりも長い時間スパンでの海浜変形の評価を試みた。その際、古地図自体に含まれる誤差が問題となると考えられるため、地図の誤差を凌駕するほどの顕著な地形変化があったと考えられる2地域を対象とし、地形変化の考察を行った。本研究と類似の研究として、田中ら¹⁾(以下、前報と呼ぶ)が汀線変動の検討を行っている。前報の研究では地図の重ね合わせを平行移動のみで行い、また汀線位置のみの考察を行っているのに対し、本研究ではアフィン変換により地図の幾何補正を行い、また汀線

位置だけではなく土砂堆積速度の算定を行い、さらに古地図の精度の考察も含め、古地図の有効性についての評価を行っている。

2. 研究対象地域の概要

本研究の対象地域は、宮城県石巻湾西部に位置する野蒜海岸および福島県北部の宮城県境近くに位置する松川浦である。

(1) 野蒜海岸

野蒜海岸周辺図を図-1に示す。野蒜海岸は全長約2.8kmの自然海浜である。石巻湾西部沿岸の卓越漂砂が西向きであり²⁾、野蒜海岸は漂砂系の末端に位置しているため、この地域では土砂の堆積が顕著である³⁾。

(2) 松川浦

松川浦周辺図を図-2に示す。松川浦は、福島県北東部に位置する潟湖である。松川浦と海を結ぶ水

路は、現在浦の北側に位置するが、過去は東側に水路があった。これは、北上する漂砂により開口部の維持が困難であったため、掘削により北側に新たな水路を設けたためである⁴⁾。そのため、この地域において地形変化が顕著であると考えられる。また、この地域には過去に松川浦以外にも、井田浦、矢沢浦、山信田浦、新沼浦といった潟湖が存在しており、低平沼沢地であったことがわかる。

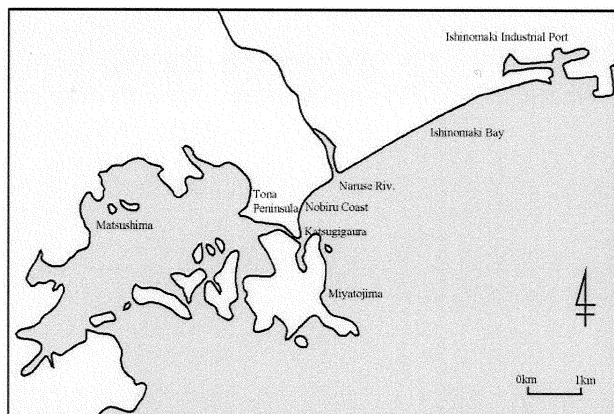


図-1 野蒜海岸周辺図

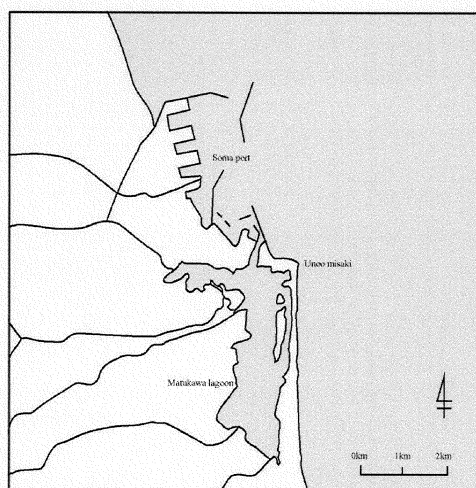


図-2 松川浦周辺図



図-3 野蒜海岸周辺の地形（伊能大図，国土地理院）

3. 使用した古地図と海図・地形図

(1) 伊能図

伊能図とは、今から約 200 年前に伊能忠敬により作成された日本全体の測量地図である。本研究の対象地域は、ともに 1801 年の第二次測量にて調査されている⁵⁾ため、1801 年の地形情報として考えることとした。

渡辺⁶⁾によれば、伊能忠敬の測量は、田畑や宅地を測るのと同じ方法で全国を測ったものであり、システムの誤差を減らす工夫をしながら、単純な測量方法を丁寧に行っている。具体的には、導線法、公会法、横切り法などが用いられている。

伊能測量は、海岸線と主要街道のみを対象とした測量であった。海岸線沿いの場合には、海岸波打ち際（砂浜の場合は 30～40m 内側）に測線を設定しており、満潮干潮にはこだわらなかったと考えられている。

(2) 御分領中海岸図

図-4 に御分領中海岸図を示す。荒井⁷⁾によると、御分領中海岸図は嘉永 6 年（1853 年）に御郡方横目荒所起返方引切・海岸御絵図御仕立方兼役今野謙吉と御郡方御役人後絵図御仕立方引切熊谷市兵衛によって測量・製図され、作成された海岸の絵図であり、「御分領中海岸筋村々里数等調並海岸図」として仙台藩の沿岸部の村々の調書とともに存在する。18 世紀末から、異国船が日本近海に多数出現する

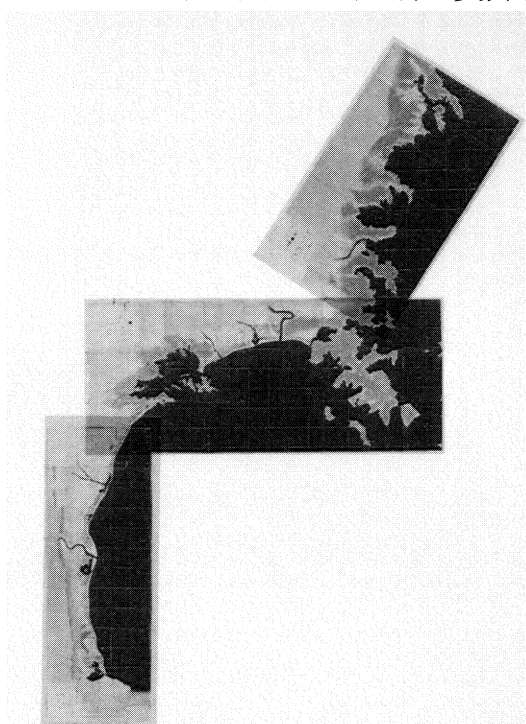


図-4 御分領中海岸図（仙台市博物館蔵）

ようになり、長い海岸線を持つ仙台藩が海防強化の必要性に迫られたため作成したものであり、これはその基本資料である。この海岸図は3帖から成り、本吉から亘理までの海岸が記載されている。絵図上には、地名、街道、町場、河川、異国船接近を監視する唐船番所、米俵の検査や脱穀・密穀の取り締まりなどをする御穀改所、塩場などが記入されている。また、海上には等間隔で線が入れられており、一目で距離がわかるようになっている。

(3) 海図

野蒜海岸周辺の海図として、明治9年、明治37年、昭和5年、昭和14年の旧版海図が存在する。

(4) 陸前国桃生郡野蒜港近傍測量明細絵図

明治11年(1878年)、東北地方の開発を目的とし、野蒜海岸において野蒜港の建設が計画された⁸⁾。そのため、野蒜築港関係書類として、陸前国桃生郡野蒜港近傍測量明細絵図が存在する。

(5) 測量図

その地域において初めて作成された地形図を測量図と言う。そのため、地形図と考えると問題ない。地形図であるので、精度は高いと考えられる。本研究においては、明治41年(1904年)に作成された松川浦の測量図を用いた。

4. 古地図による汀線比較および精度の考察

(1) 地図の幾何補正および精度の考察

地図を重ね合わせる際、両図に対照の基準となる共通の地点が必要である。伊能図は、測線以外で位置の確かな点や地物の描示がきわめて乏しいと言われている⁹⁾。そのため、地図の重ね合わせにおいて基準となる地点は、測線沿いにおいて以前より存在していると思われる、山や岩礁、寺社を用い、さらに集落の位置を考慮して重ね合わせることにした。これは、他の古地図でも同様である。

a) 野蒜海岸

基準点同士の位置を合わせる際、地図の平行移動及び回転移動のみでは基準点間の歪みが生じる。これは、地図自体に含まれる誤差のためであると考えられる。これらの歪みを補正するため、アフィン変換を用いて地図の幾何補正を行った。

アフィン変換において、基準点は10点以上置くのが普通である。しかし、伊能図においては用いる

ことのできる基準点が少ないため、野蒜海岸における基準点は、丸山崎、呼崎といった測線の通っている岩礁に加え、野蒜海岸南西に位置する松島において測線沿いにある五大堂、そして鰯山を含む合計7点を基準点とした。なお、鰯山は測線の通っていない岩礁であるが、北北東に測線の通る集落があり、現在もその集落は残っておりその位置関係も合っているため、基準点として用いることとした。また、他の古地図についても同様に6~8点を基準点として用いた。各古地図の基準点数を表-1に示す。

アフィン変換を行う際、誤差の評価方法として二乗平均誤差RMSEを用いた。計算により得られた各地図毎のRMSE値を図-5に示す。この図より、御分領中海岸図のRMSE値が大きいことが見てとれる。基準点の位置は全く同じではないものの、伊能図と御分領中海岸図ではほぼ同じ範囲の基準点を用いている。それに関わらず、伊能図より御分領中海岸図のRMSE値が大きいことから、御分領中海岸図自体の精度は低いと考えられる。このことは、宮城県全体の海岸線に渡ってアフィン変換を施した

表-1 古地図の基準点

地図	西暦	和暦	基準点数
伊能図	1801	享和1	7
御分領中海岸図	1853	嘉永6	8
旧版海図	1876	明治9	7
野蒜港近傍 測量明細絵図	1881	明治14	6
旧版海図	1904	明治37	7
旧版海図	1939	昭和14	7

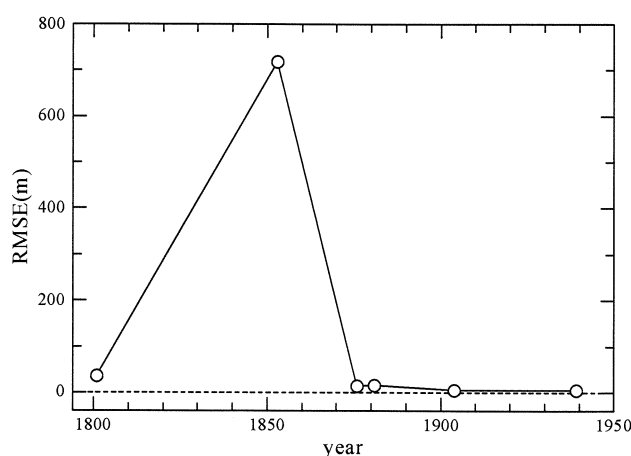


図-5 地図毎のRMSE値

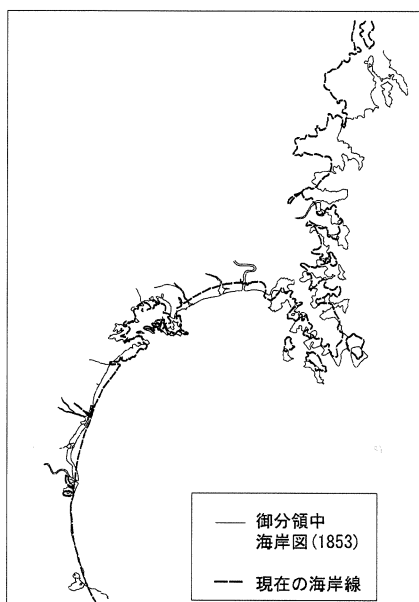


図-6 宮城県全体における御分領中海岸図と現在の海岸線の比較

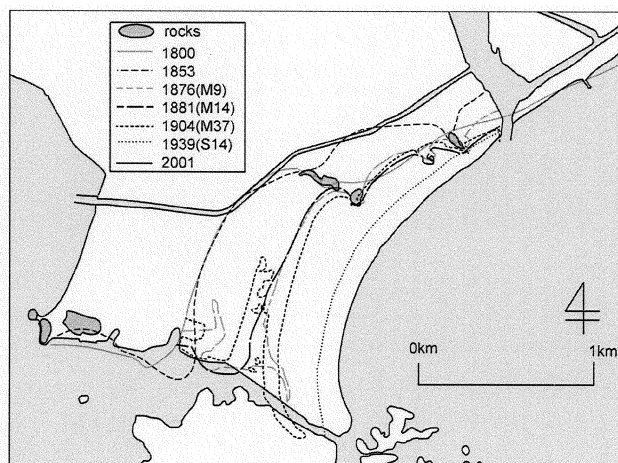


図-7 野蒜海岸の汀線変化

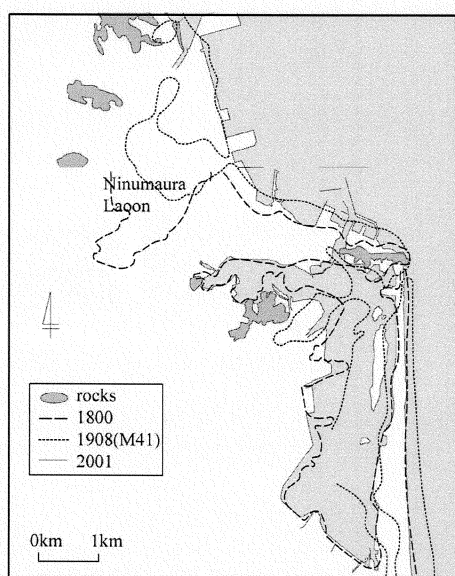


図-8 松川浦の汀線変化

御分領中海岸図と、現在の海岸線を重ねあわせた結果である図-6からも予想できる。前報では御分領中海岸図を地形変化の考察に用い、名取川河口及び阿武隈川河口の汀線張り出しに着目し、当時の豊富な河川流出土砂の存在について述べている。名取川河口及び阿武隈川河口付近には基準点となる対象物がほとんど存在しないため、これらの河口付近での局所的な誤差の評価は出来ないが、図-5の結果を見る限り、御分領中海岸図の精度は十分ではないものと判断される。

一方、御分領中海岸図以外の地図の RMSE 値は数 10m のオーダーである。特に、新しい地図ほど小さな誤差となっている。よって、この地域に見られた地形変化に比べて誤差は十分に小さく、地図自体の誤差は無視できる程度と判断した。

b) 松川浦

松川浦においては、波浪による岩礁の浸食が激しく、基準点となる地点が存在しなかったため、アフィン変換は行わず平行移動のみで重ね合わせを行った。

(2) 地形変化に対する考察

a) 野蒜海岸

幾何補正を施した伊能図、測量図、海図、地形図の重ね合わせを行った結果を、図-7 に示す。1800 年には東名半島が現在の約半分の面積であったのが、年度が進むにつれて砂の堆積により半島東側の汀線が前進し、また砂州状の地形が形成されるというプロセスを経て現在の地形に変化していることが読み取れる。

なお、前述の通り、御分領中海岸図は RMSE 値が大きかったため、図-7 の汀線比較及び後述する土砂移動量評価において含めないこととした。

b) 松川浦

地図の重ね合わせの結果を、図-8 に示す。この図によると、松川浦の南側の海岸、及び相馬港の北側の長期汀線変化は後退傾向を示しており、浸食していることがわかる。鵜の尾岬以南の地域の汀線後退は豊島ら¹⁰⁾によって明らかにされている。また、相馬港より北側も浸食傾向となっていることが明らかにされている¹¹⁾。よって、伊能図がその傾向を良く表していることが示された。

また、現在は浦と海を結ぶ水路は北側に位置しているが、伊能図や明治 41 年の測量図によると水路は東側に位置している。現在の水路位置になったのは、1910 年に鵜の尾岬西側の崖が掘削された時からである。水路掘削の理由として、北上する漂砂に

より開口部の維持が困難であったため、北側に新たな水路を設けたことが挙げられる⁴⁾。このことに関しては、測量図からも開口部が非常に狭まっている様子が読み取れる。

また、測量図と比較することにより、松川浦の周辺地域に、現存しない潟湖の存在が確認できる。松川浦ものがたり刊行委員会¹²⁾によると、この地域には5つの潟湖があり、潟湖のできやすい環境にあったとある。小高町東方に井田川浦、鹿島町東方に八沢浦、現在の松川浦南方に山信田浦、そして現在の東部工業団地付近に新沼浦があったが、いずれも干拓されて消滅した。このうち、新沼浦は伊能測量における測線上にあったため、伊能図にも浦の存在を見てとることができる。

5. 野蒜海岸における土砂堆積速度の算定

(1) 長期土砂堆積速度の評価法

図-5 に示したとおり、野蒜海岸での伊能図は精度が高く、また、図-7 に示したように同海岸を対象にして多くの地図が蓄積されている。そこで、これらをもとに、長期的土砂堆積速度の評価を試みる。

土砂堆積量の算定は、重ね合わせた地図の面積の差を用い、one-line モデルによる式で算定を行った。図-9 に概念図を示す。野蒜海岸南端は岩礁に接し、そこでの漂砂量はゼロであることから、図-9 の様にモデル化することが出来る。海岸線に垂直な方向を x 軸、海岸線方向を y 軸とする。one-line モデルによる基礎式を式(1)に示す。

$$\frac{\partial x_s}{\partial t} = -\frac{1}{D_s} \frac{\partial Q}{\partial y} \quad (1)$$

ここで、 x_s ：海岸線の位置、 D_s ：漂砂の移動高さ、 Q ：間隙を含めた沿岸漂砂量、ここで、岸沖漂砂は無視した。次に、式(1)を沿岸方向に積分する。

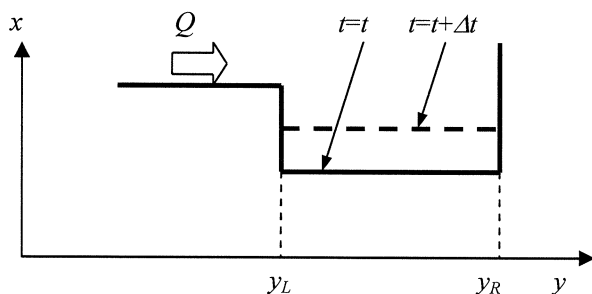


図-9 土砂堆積速度算定の概念図

$$\int_{y_s}^{y_L} \frac{\partial x_s}{\partial t} dy = -\frac{1}{D_s} \int_{y_s}^{y_L} \frac{\partial Q}{\partial y} dy \quad (2)$$

ここで、 y_L 、 y_s ：海浜の境界位置であり、上式より、

$$Q = D_s \frac{\Delta x_s}{\Delta t} (y_L - y_s) = \frac{D_s \Delta A}{\Delta t} \quad (3)$$

ここで、 Δx_s ：汀線の変化量、 Δt ：二枚の地図の時間間隔、 ΔA ：地形変化前と地形変化後の汀線で囲まれた部分の面積である。よって、式(4)より、 ΔA を算定することにより沿岸漂砂量を求める。ただし、算定に必要な漂砂の移動高さ D_s については、近隣の石巻海岸において 8m であることが知られている¹¹⁾ため、その値を用いることとした。

(2) 長期土砂堆積速度算定結果

上述した方法により求めた土砂堆積量を、表-2 及び図-10 に示す。ここで、縦軸は 1800 年の堆積量をゼロとして表している。最小二乗法により、この地域の土砂堆積速度を算定した結果、ここ 200 年の間は約 75,000m³/year の土砂堆積速度であることがわかった。石巻海岸西部沿岸において、沿岸漂砂

表-2 野蒜海岸における伊能図を基準にした土砂堆積量

地図	西暦	$\Delta A(10^6 \text{m}^2)$	$\Delta Q(10^6 \text{m}^3)$
旧版海図	1876	0.69	5.51
陸前国桃生郡野蒜港 近傍測量明細絵図	1881	0.74	5.89
旧版海図	1904	0.81	6.47
旧版海図	1939	1.5	11.98
地形図	2001	1.81	14.52

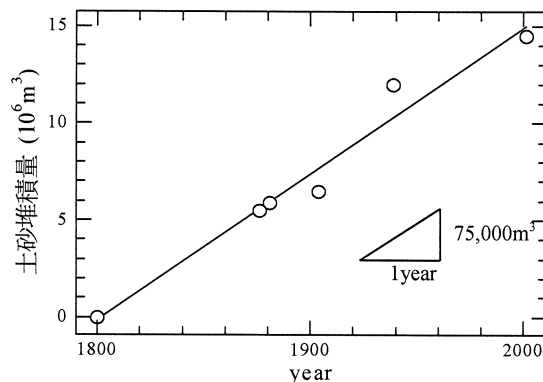


図-10 野蒜海岸の土砂堆積量

量は $70,000\text{m}^3/\text{year}$ と言われており¹³⁾、非常に近い値となった。

6. 古地図の有効性に関する考察

(1) 野蒜海岸

野蒜海岸において、伊能図を始めとする古地図を利用した土砂移動量の算定を行うことは有効であると考えられる。その理由として、野蒜築港計画のため、古地図が多く存在したこと、そして漂砂系末端のために土砂の堆積が顕著であり、地図に含まれる誤差が無視できることが挙げられる。

そして、伊能図を用いた結果、従来知り得なかった 200 年前の地形情報を知ることができることがわかった。これは、地形図や空中写真、そして測量図などの伊能図以外の古地図を用いた場合の約 1.6 倍の時間スケールである。このため、より長期的な土砂移動量を評価することが可能となった。

(2) 松川浦

福島県松川浦において、古地図を用いることにより松川浦の他の潟湖の存在を知ることができ、また開口部の位置が東側に存在することを確認することができた。また、伊能図を用いることにより、長期汀線変化の様子を知ることができた。しかしながら、野蒜海岸のように、長期的にみた土砂移動量を算定するのは困難であると考えられる。その理由として、基準点として用いることの出来得る岩礁が波浪の影響で浸食されていること、及び海岸線の形が単調で、対象地域近辺のみで基準点を設けなければならないことが挙げられる。このため、地図の幾何変換を行うことが難しく、そのため、地図自体に含まれる誤差や幾何変換に伴う誤差の影響が大きくなると考えられる。

7. まとめ

本研究により得られた主要な結論を以下にまとめる。

(1) 野蒜海岸において、二乗平均誤差 RMSE を用いることにより、地図の誤差を定量的に評価することができた。それにより、前報において有用であると考えられていた御分領中海岸図が、十分な精度を有していないことが示された。また、同海岸におい

て 1800 年からの土砂堆積はほぼ様な速度であり、その堆積速度はおよそ $75,000\text{m}^3/\text{year}$ であることがわかった。

(2) 松川浦において、古地図を用いることで松川浦以外の潟湖の存在を確認するとともに、長期汀線変化の傾向を知ることができた。

謝辞：本研究を実施するに当たり、日本学術振興会科学研究費（萌芽研究、代表：東北大学・田中 仁、No.15656119）の補助を受けた。また、仙台市博物館には、貴重な資料を提供頂いた。ここに記して、深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 田中 仁, 松富英夫, 泉 典洋：古地図を用いた仙台海岸・石巻海岸の長期汀線変動に関する検討, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.556-560, 2005.
- 2) 望月倫也, 宇多高明, 大類光男, 大谷靖郎：仙台湾北部沿岸の海浜変形の実態, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp.369-373, 1990.
- 3) 八島邦夫：野蒜洲崎浜の急速な地形発達とその要因についての一考察, 季刊地理学, 第 50 巻, pp.329-337, 1973.
- 4) 奥田節夫, 倉田 亮, 長岡正利, 沢村和彦（編）：空から見る日本の湖沼, 丸善, 1991.
- 5) アメリカ伊能大図展実行委員会（編）：アメリカにあった伊能大図とフランスの伊能中図, 日本地図センター, 2004.
- 6) 渡辺一郎：伊能忠敬の地図をよむ, 河出書房新社, 2000.
- 7) 荒井 聡：仙台の環境, 今昔ものがたり, 市史せんだい, Vol.5, p.143, 1995.
- 8) 田村勝正：開発の歴史地理, 大明堂, 1985.
- 9) 東京地学協会：伊能図に学ぶ, 朝倉書店, 1998.
- 10) 豊島 修, 奥田光男, 武藤徳一：福島県海岸の侵食と海岸特性について, 海岸工学論文集, 第 20 巻, pp.507-511, 1973.
- 11) 宇多高明：日本の海岸侵食, 山海堂, 1997.
- 12) 松川浦ものがたり刊行委員会：松川浦ものがたり（上）, 2001.
- 13) 高橋 徹, 田中 仁：石巻湾におけるヘッドランド施工による漂砂制御効果, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.471-475, 2005.