

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
環境学専攻社会文化環境コース

平成 17 年度

修士論文

九十九里浜の地形形成に関する研究  
— Study on topographical formation  
in KUJYUKURI beach —

2006 年 1 月提出  
指導教員 鯉渕 幸生 講師

46838 平塚 四郎

## 要旨

房総半島の太平洋側に広がる九十九里浜は長さ約 60km、幅約 10km の砂浜である。この浜砂の供給源は、九十九里浜を挟んだ北側の屏風ヶ浦と南側の太東岬の崖浸食である。この両端の崖を護岸したため九十九里浜への砂の供給が止まり、九十九里浜の北部と南部で侵食が顕著となった。砂丘が削られ浜崖となった。護岸工事が施されコンクリートの海岸線に変貌してしまった。この海岸の地形変化は、この 40 年ほどで起こった。つまり高波・越波などから海岸を守るための施設・人工物が設置されてからである。護岸によって九十九里浜北端の飯岡海岸では砂の補足に成功したが、漂砂の下手方向では突堤ができるたびに次々と侵食が伝播し、砂浜が消失している。このままでは、九十九里浜の砂浜は消失する。八方手を尽くしても解決できないのは、なぜであろうか。

本研究では、九十九里浜を把握するため、過去の九十九里浜の地形発達史を概観し、現在の地形形成の要因である海岸侵食・堆積を把握するために現地踏査を限なく行い満潮汀線上の砂を収集し、その分析結果から手がかりを得ようとした。

本研究の目的は、海浜砂を材料として、①ヘッドランドの左右に溜まった砂の粒度分布から漂砂の卓越方向を推定するという簡便法を適用し、②人工物設置前後の汀線変化量を比較検討することによって地形変形を予測することである。

①の手法は、人工物のヘッドランドを利用するという点で従来の方法と異なる。大掛かりな実験を必要としない漂砂の卓越方向を推定する方法であり、誰でも 1 人で分析できるという特徴をもつ。また、実際の堆積砂であるから侵食・堆積という時間経過も蓄積している。季節ごとに分析すれば、より正確な予測ができるであろう。また、現実の砂質も同時に分析できる。②の汀線変化量の変遷は、地形形成における経年変化を知る上で重要な方法となる。ここから九十九里浜全体の土砂収支がわかってくるので、工事や養浜計画の適切な場所選定に役立つ。

本研究の実験結果及び分析から次の 2 点が明らかになった。①九十九里浜の地形変形は、北端の飯岡海岸で砂浜が広がり、南九十九里浜南端の東浪見海岸では猛烈に侵食するという両端で正反対の現象が顕著である。②砂鉄含有分については、1970 年頃に両端で含有量が多く 45%の左右対称な砂鉄分布を示したが、2005 年の本研究では、北端で 20%、南端で 90%以上の砂鉄分布の大きな偏りが生じていることも明らかとなった。

今回の研究では、これ以上砂浜を減少させない方法、砂浜の回復をする方策などに決め手がないだけに、多くの課題を残した。しかし、現在、進行している「千葉東沿岸海岸保全基本計画」(平成 15 年 8 月策定)を補足し、持続可能な九十九里浜の総合管理を確立する上で、基礎資料を与えるものとして役に立つと考えている。

## 目 次

要旨	
目次	i
第1章 序論	
1.1 研究の背景	1
1.2 本研究の目的	3
1.3 既往の研究	4
1.4 研究方法	5
1.5 九十九里浜の現状と問題点	6
1.5.1 九十九里浜の原風景	6
1.5.2 現状と課題	8
1.6 第1章のまとめ	9
第2章 九十九里浜の地質年代からみた地形形成過程	
2.1 既往知見の整理	11
2.2 九十九里浜海岸全体の長期的汀線変化	14
2.3 土砂供給源	
2.3.1 九十九里浜北部の土砂供給源	16
2.3.2 九十九里浜南部の土砂供給源	18
2.4 第2章のまとめ	21
第3章 現地踏査と分析手法	
3.1 現地踏査	22
3.1.1 現地踏査のまとめ	26
3.2 採砂地点	
3.3.1 ヘッドランド左右の採砂場所	28
3.3.2 1970年データと現在比較のための採砂場所	29
3.3 砂試料の処理方法	
3.3.1 粒度分析	30
3.3.2 含水比	31
3.3.3 砂鉄含有量比	31
3.3.4 比重	31
3.3.5 軽鉱物、微化石	32
3.3.6 円磨度・球形度	
3.3.6.1 砂の粒度と円磨度	33
3.3.6.2 円磨度の定義と判定簡便法	34
3.3.6.3 球形度	36
3.3.7 砂鉄	
3.3.7.1 千葉県のスズ鉄床	38
3.3.7.2 スズ鉄層調査	40
第4章 分析結果および考察	
4.1 粒度分布	41
4.1.1 ヘッドランド左右の砂粒径から漂砂の卓越方向を推定する	
4.1.1.1 北九十九里浜のヘッドランド	41
4.1.1.2 南九十九里浜のヘッドランド	48
4.1.1.3 考察	54

4.1.2	1970年の data と砂の粒度比較	58
4.2	比重測定	
4.2.1	基準汀線変化量	60
4.2.2	汀線変化量と比重の関係	61
4.2.3	石英と他の鉱物等の関係	61
4.3	砂鉄含有量測定	63
4.4	含水比	66
4.5	円磨度・球形度	66
4.6	汀線の経年変化	69
4.7	砂幅の変化量	71
4.8	第4章のまとめ	73
第5章 結論および今後の課題		
5.1	九十九里浜の地質年代からみた海浜形成過程	74
5.2	分析結果および考察	74
5.3	具体的な提案	75
5.4	今後の課題	
5.4.1	個人としての課題	76
5.4.2	地域としての課題	76
5.5	展望	76
謝辞		77
付録1	採砂場所、緯度・経度、比重、砂鉄含有分・非砂鉄砂、中央粒径、堆積・侵食データ	
付録2	汀線変化量と砂幅の変化	
付録3	N値	

# 第 1 章 序 論

## 1.1 研究の背景

日本人は、四方海に囲まれて生活していながら、海に関しては比較的関心が薄いことが指摘されてきた。かくいう著者も海に関心が強かったわけではなかったが、昔慣れ親しんだ広大な砂浜だった九十九里浜が帰郷すると無残な直立護岸や緩傾斜護岸とテトラポットの無機質な海岸に変貌をしてしまっていて、大きなショックを覚えた。この海岸の変貌は、この40年ほどの間におこったことである。

しかし、まだ下手側の九十九里浜には砂浜が残っている。浜崖にここ2、3年の内に見舞われている野手海岸の漁師に聞くと、この侵食の原因は「海面が上昇したためだ」という。海に慣れている漁師にとっても一般の人々にとっても侵食の原因を正確に説明できないのが現状である。宇多(1997)は「ここ20～30年間に、われわれ日本人が沿岸域でなしてきた各種人為的改変こそが海岸侵食の根源である」とし、「かかる人為的開発行為は、その当時の時代背景の下で、合目的・合法的に進められてきた」と指摘している<sup>1)</sup>。

このような“災害からの海岸の防護・防災”を目的とした「海岸法」に対して、平成11年からは新「海岸法」が公布され、そこでは“海岸環境の整備と保全”及び“公衆の海岸の適正な利用”が追加されて、防護・環境・利用の3つの面でバランスのとれた総合的な海岸管理を目指すことになった。

千葉県では国が定めた「海岸保全基本方針」に基づき学識経験者、関係市町村長、関係海岸管理者の意見を聞くとともに地域の意見を反映した「海岸保全基本計画」を沿岸ごとに定めた。本県では千葉東沿岸と東京湾沿岸の2つが対象となっている<sup>2)</sup>。

このうち千葉東沿岸海岸保全基本計画は、房総半島の北端の銚子から房総半島の南側に位置する洲崎までの延長約230kmで平成15年8月に策定された<sup>3)</sup>。策定に先立って地元住民向けの公聴会が開催されているが、九十九里浜の漂砂管理は地元の住民にとって手に負えないがために行政に大きな期待を寄せられている。県の担当者にとっても手探り状態であるとされていて、専門家に大きな期待を寄せている。著者は九十九里浜で生まれ育ったために、この砂浜の原風景に格別の愛着をもっており、海岸工学の

専門知識を生かし、少しでも砂浜の環境保全に役立ちたいと考えている。

九十九里浜の研究が海岸工学の視点から本格的になされたのは、堀川・砂村（1970）であり、35年前になる。当時は崖、港などの護岸や局部的侵食場所の工事以外、人工物の設置されていない自然な砂浜が多かった。そのときの貴重な観測結果を現在と比較すると、汀線の変化量に大きな違いが出ている。人為的行為によって、砂浜幅が大きく減少したのである。その影響は、そこを生息地とする動物・植物を減少・絶滅の危機へと追いやっている。生物多様性のうたわれている今日、環境保護上、由々しき海岸の変貌ぶりである。

九十九里浜については、海岸工学分野で侵食のメカニズムや海岸線の変化における多くの研究がなされ数多くの侵食対策事業が進められているが、九十九里北端の飯岡町のように砂浜の回復をした成功例はあっても、トータルで見ると、侵食問題を解決できたという例をみない。この九十九里浜が全国的にも有名な侵食海岸であることを知り、ここの研究(図 1.1.2)が全国の砂浜侵食の対策になり得るとい展望のもとに身近な砂粒を研究することから着手した次第である。

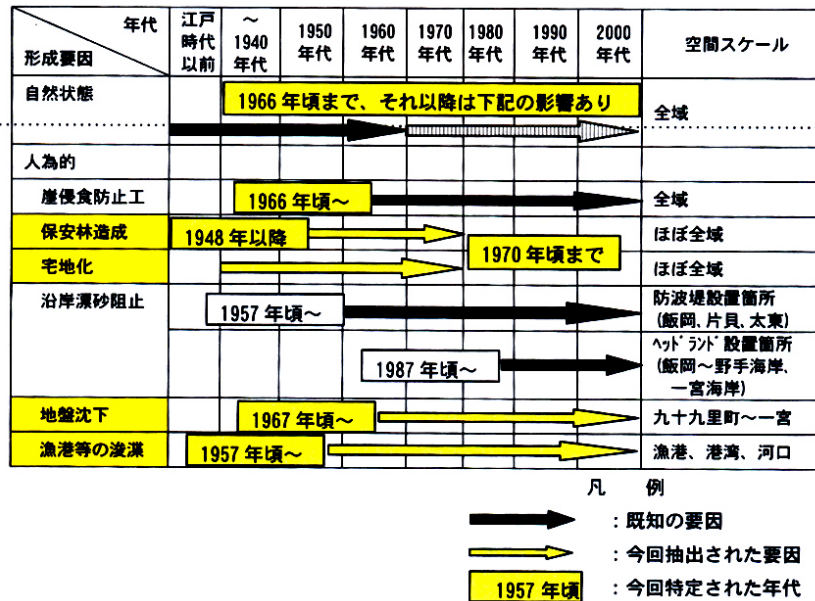


図－1.1.1 県策定の海岸保全計画範囲



図－1.1.2 本研究のエリア

なお、海浜の形成や変形に対する人為的要因の起源を、星上ら<sup>3)</sup>は明確に整理できるとしている。この表は、漂砂供給源である崖の侵食防止工が始まったのは1966年頃からであり、ほぼ40年ほど前であることを示している。



表－1.1.1 九十九里浜の形成要因と形成年代。図中の「今回」とは星上ら<sup>3)</sup>による 2005 年の研究を指す。

## 1.2 本研究の目的

本研究の目的は海浜砂を材料として、①ヘッドランドの左右に溜まった砂の粒度分布から漂砂の卓越方向を推定するという手法の有効性を試し、②人工物設置前後の汀線変化量を比較検討することによって地形変化を予測することである。

①の手法は、漂砂の卓越方向を推定する従来の方法と比較して簡便であり、大掛かりな実験を必要としない誰でも 1 人で分析できるという特徴をもつ。また、採取した砂は実際の堆積砂であるから侵食・堆積という時間経過も蓄積している。したがって、季節ごとに分析すれば、より正確な予測ができる。また、砂質も同時に分析できる。

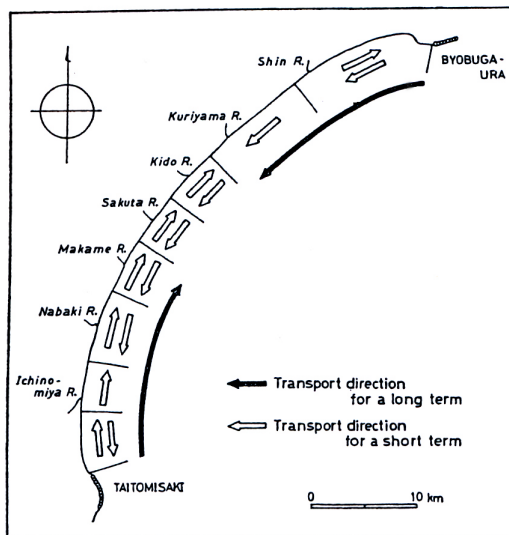
②の汀線変化量の変遷は地形形成における経年変化を知る上で重要な方法となる。ここから九十九里浜全体の土砂収支がわかってくるので工事や養浜計画の適切な場所選定に役立つ。

### 1.3 既往の研究

堀川・砂村（1971）は、空中写真をもとに図－1.3.1 に示すように河口偏奇の状況より沿岸漂砂の卓越方向について論じ、九十九里海岸北部の飯岡漁港～栗山川河口では南西向き（図中の矢印）の沿岸漂砂が卓越すること。逆に九十九里海岸南部の太東崎～真亀川河口の間では北向きの沿岸漂砂が卓越することを示した。また木戸川河口～真亀川河口間では沿岸漂砂の方向が季節的に変動するとした<sup>4)</sup>。

この時期には、ヘッドランドのような人工物は存在しないため次のような方法を採用した。(1)海浜礫の最大礫値から推定する方法、(2)海浜砂の粒度特性（粒径および分級度）から推定する方法、(3)海浜砂の重鉍物含有率から推定する方法。

これとの比較研究は、本論で展開する。



図－1.3.1 九十九里浜における沿岸漂砂の卓越方向<sup>4)</sup>



## 1.4 研究方法

調査方法は、①GPSで位置を確認し、ヘッドランド左右に溜まった砂を採取した。②過去と現在のデータを比較し、汀線変化量や砂鉄分布の変遷を考察する。③人工物による砂浜消失の影響で、海浜の動植物への影響も調べる。研究方法を図1.4に示した。

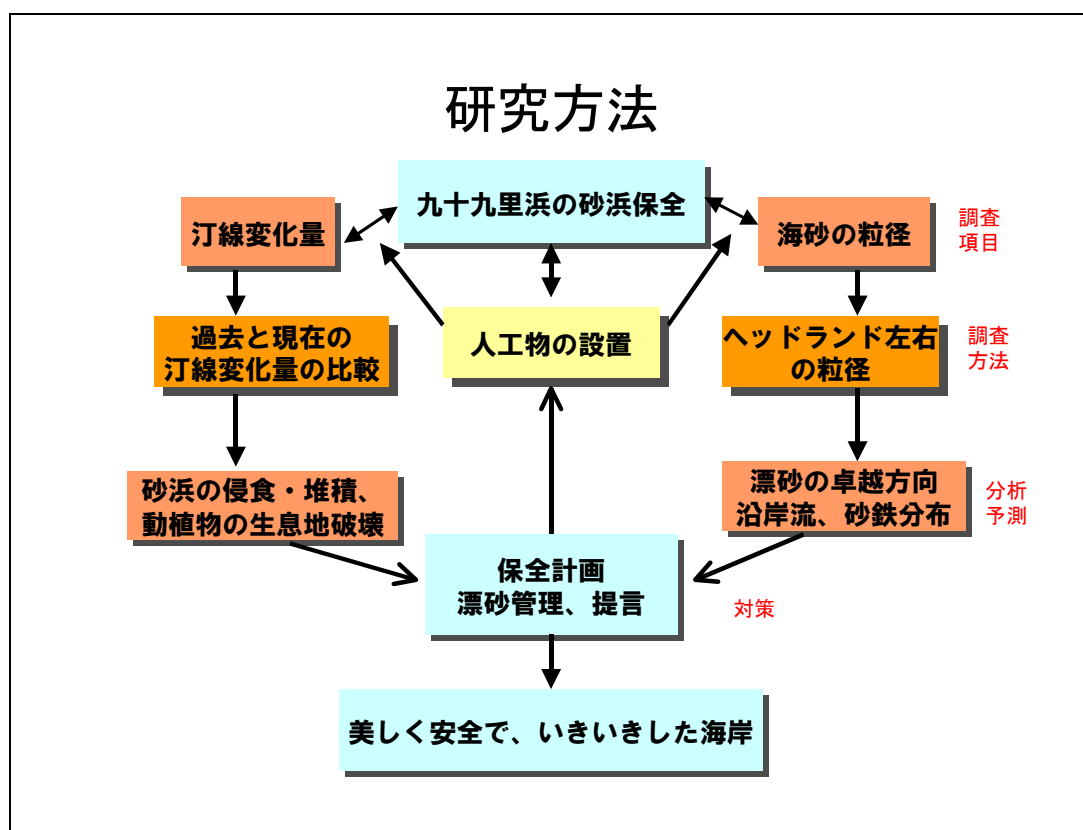


図 1.4 研究のフローチャート

海砂の収集は、現地踏査により、GPSで位置を確認しながら、満潮汀線付近の表面の海砂を採取して持ち帰り、実験室にて、次の測定をした。

①粒度分布：据付型レーザー回折式粒度分析器を使用、②比重、③砂鉄含有分、④顕微鏡写真、⑤砂の球形度、円磨度を調べた。この実験方法の詳細は、第3章で述べる。

## 1.5 九十九里浜の現状と問題点

ここでは、九十九里浜の原風景と現在を比較し、問題点を挙げてみる。

### 1.5.1 九十九里浜の原風景

著者は、40年ほど前の九十九里浜の海岸線がどこでも広い砂浜で覆われていたことを知っている。穏やかな勾配の海岸が広がり、地引網漁で栄え、夏は海水浴で賑わっていた。浜に人工構造物は無く、コウボウムギ、ハマヒルガオなどの海浜植物が繁茂し、アカウミガメやコアジサシが産卵をしにきていた。浜の人々は、その卵を食用にしていたほどであったが産卵場を失ったアカウミガメとコアジサシは今や絶滅危惧種に挙げられている。今は、どこを見ても砂丘らしい砂丘を見つけるのが難しくなった。写真-1.3.1.1のように砂の見えないコンクリート護岸工事が施され無機質な海岸線に変貌してしまった。この変貌は、この40年間で起こった<sup>1)</sup>。



写真-1.5.1.1 地引網風景(旭市神宮寺浜、1965年頃)と右、同じ場所(2005年、著者撮影)

九十九里浜は、北端の屏風ヶ浦の海食崖と南端の太東岬の海食崖間に挟まれた砂浜で、全体に「お椀」のような形状をしている(図-1.5.1.2)。この海岸線付近で漂砂の移動を引き起こしている潮流は、沖合から海岸線付近へ近づいた波が海岸線付近で砕ける際に生じた海浜流である。この海浜

流は、汀線に沿って沿岸方向に流れ最終的に離岸流となり、図-1.5.1.2に示すような循環流を形作っている。この沿岸流によって砂は、緩やかに移動している<sup>1)</sup>。地形的な特質として、飯岡や一宮のようなお椀の縁に位置する海岸は侵食を受けやすく、逆に片貝漁港付近のお椀の底部分に砂が溜まりやすいという特徴をもつ。



図-1.3.1.2 九十九里浜の沿岸漂砂の模式図<sup>2)</sup>

九十九里浜は北側と南側が現在侵食傾向が顕著であり、その対策としてヘッドランド工法と養浜工という事業が展開され、広域的な漂砂管理が進められている。漂砂管理については、九十九里地域における浚渫土量の年次計画があり、近接する銚子漁港、また大原漁港までの間の航路浚渫等の維持浚渫が毎年行われている。大原まで大体年平均10万 $m^3$ ほどの浚渫土がある。人工施設がない場合は真ん中の辺で野手海岸、木戸海岸あたりは270万 $m^3$ とか70万 $m^3$ 、10年間で340万 $m^3$ ほど砂が減っていくだろうと予測されている<sup>5)</sup>。

### 1.5.2 現状と課題

九十九里浜の海浜地形を形成してきたのは、6,000年ともいわれる地形的な時空間における自然の営力によるものである。星上ら<sup>6)</sup>は、最新の知見である「海岸工学便覧」<sup>7)</sup>や海岸保全を行う際の基準「海岸施設の技術上の基準」<sup>8)</sup>が数日～数十年程度の物理現象を再現するものとされていることに対して、このオーダーの情報に基づいた再現では的確に把握できないとして、例えば、数百年～数百万年というスケールでの変動を対象としているプレートテクトニクスに代表されるような地質学、地形学、地質工学の応用が必要であると指摘する。

著者は、これに住民参加による問題解決を加えたい。例えば、「千葉東沿岸海岸保全基本計画」策定に伴う公聴会会場では、以下のような地元住民の貴重な意見が出されていたからである。

大原会場では、①夷隅川から大量の流木や竹が日在海岸に運ばれ打ちあげられる。処分に困りボランティアの手によって、このゴミが集められ焼却されている。②日在海岸は、アカウミガメの産卵地であるが、産卵場所が狭まっている。③夷隅川河口は、盤洲干潟に匹敵するエスチャリーがある、この保存運動をしている。

成東会場では、①植生が豊かであるが、車が砂浜に乗り入れてダメにする。②車の乗り入れ規制の看板があっても効き目がない。③「九十九里浜の自然を守る会」を2,000年に結成し活動している。④干鯛を干すのに飛砂対策として、昔は、砂浜に藁を刺したものだ。④真亀川がよく氾濫する。

旭会場では、①自転車道ができたが、自転車に乗って走っている姿がない。作りっぱなしの気がする。②サーファーが来るが、駐車場やトイレに困っている。彼らは用を松林で済ませるので松林が汚い。③ヘッドランドの効果を検証し、途中で工事を止めてもよいのではないか。なにがなんでも計画通りに完成するのは問題。最小工事費の投入で最大効果を狙っては？

インターネットで公聴会の議事録が公開されている。実に生き生きとした雰囲気を読み取ることができる。海岸の性質は、地元の住民が一番詳しいし、また、聞いてもらいたいと願っている。こうした公聴会などは、継続的に開かれるのが望ましいだろう。

## 参 考 文 献

- 1) 宇多高明(1997)：日本の海岸侵食,山海堂,はじめに.
- 2) 千葉県県土整備部河川計画課(2005)：千葉県の河川一県土の保全と整備,千葉県県土整備部河川計画課, pp132-133.
- 3) 星上幸良・小林昭男・宇多高明・熊田貴之(2005)：近世における九十九里浜の形成と変形,沿岸域学会誌,第17巻第3号, pp47-56.
- 4) 堀川清司・砂村継夫(1971)：千葉県九十九里海岸における漂砂の卓越方向に関する研究,第18回海岸工学講演会論文集, pp.417-421.
- 5) 堀川清司(1991)：海岸工学 pp330-333,東京大学出版会.
- 6) 星上幸良・小林昭男・宇多高明・熊田貴之・酒井和也・三波俊郎(2003)：千葉県外房に位置する平砂浦海岸における保安林造成と海岸侵食,海洋開発論文集,第19巻, pp. 48-492.
- 7) (社)土木学会(2002)：「海岸工学便覧」, p. 490.
- 8) 海岸4省庁(2004)：「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」, 海岸保全施設技術研究会編, p. 280.

### 1.6 第1章のまとめ

千葉県の九十九里浜は太平洋に面し、北東の飯岡・行部岬から南東の太東崎まで60kmの美しい弓形の砂浜海岸である。砂の供給源は、両端にある海食崖である。この崖の侵食を防ぐため消波堤などの護岸が進み、ここからの土砂供給が遮断された。さらに砂浜には、3つの漁港（北端は飯岡漁港、中央は片貝漁港、南端は太東漁港）が築港され、海に突き出た長い堤防が漂砂を遮り、九十九里浜の両端で激しい侵食、中央の片貝で広大な堆積が生じた。この海岸変形は、この人工物の施工された約40年である。護岸は九十九里浜北端のように部分的に成功をみるが、全体からみると大変な損失を蒙ることがある。

著者は、この人工物による影響を明らかにし、海岸保全の適切な方法を提案するため、次のような研究目標を立てた。

本研究の目的は海浜砂を材料として、①ヘッドランドの左右に溜まった砂の粒度分布から漂砂の卓越方向を推定するという手法の有効性を試し、②人工物設置前後の汀線変化量を比較検討することによって地形変化を予

測することである。

人工物（ヘッドランドや突堤）を利用して、漂砂の卓越方法や人工物施工前後の汀線変化量から、地形形成過程を研究しようとする試みである。人工物を利用した予測方法は、本研究の特色であり、従来の研究方法とは異なる。

沿岸漂砂の模式図で示すように、九十九里浜は椀のような地形をしている。両端が崖で、それが土砂を供給している。人工物で漂砂を遮断すると、偏った堆積と侵食を起こす。工事基準では、数日～数十年程度の物理現象を再現するものとされているが、このオーダー再現では、的確に把握できない。もっと長期間、数百年～数百万年というスケールでの変動を対象としているプレートテクトニクスに代表されるような地質学、地形学、地質工学の応用が必要である。

工事にあたっては関係住民の意見を汲み取り、公聴会を頻繁に開くなど住民参加型が望ましい。

## 第2章 九十九里浜の地質年代からみた地形形成過程

この章では、九十九里浜の地質年代、過去6,000年間の地形の形成過程について既往の研究から現状分析の前提条件となる人為的改変以前の自然状態を把握する。

### 2.1 既往知見の整理

九十九里浜は、東北部の屏風ヶ浦から南端の太東岬まで延長約60km、幅約10kmの大きさで広がる美しい弓形を描いた隆起海岸平野(coastal plain)である。一般に隆起海岸平野または離水海岸は、遠浅な砂浜海岸になる。九十九里浜は、その典型的な砂浜で、その勾配は非常に緩やかであり、 $1/50 \sim 1/100$ である。これは、九十九里浜が潮流の影響を受けて堆積した新しい堆積物からなる地形であることを示している。九十九里浜の特徴は、海岸と平行に細長く伸びる浜堤が数列発達することである。これら一つひとつの高さは1m～数mに過ぎない。これらの浜堤は平野が内陸から現在の海岸線に向かって徐々に拡大してきたことを示す(図-2.1.1)。

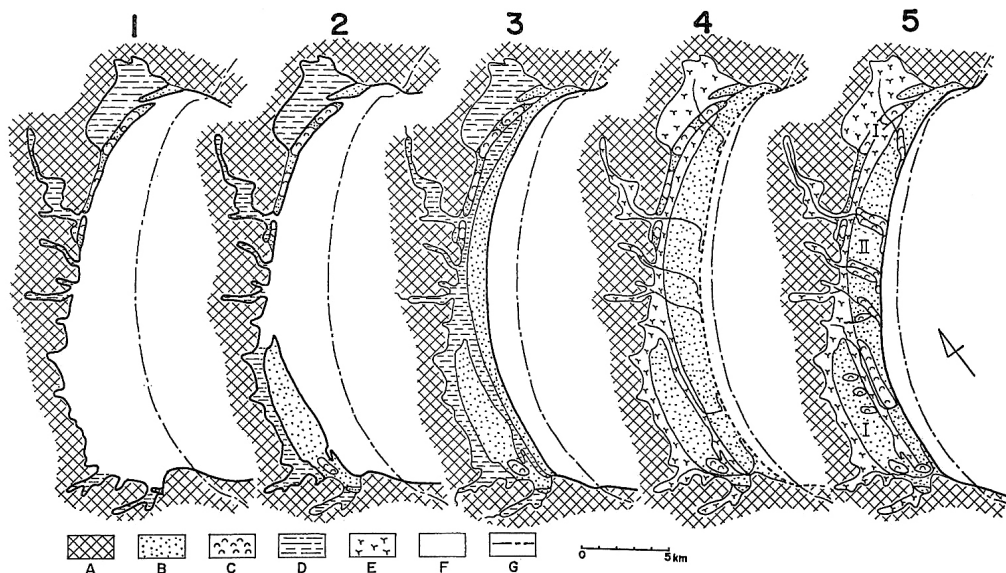


Fig. 9. Paleogeographic maps during the past 6,000 years.  
1: Early Jomon period (ca. 6,000-5,500 y. B. P.), 2: Early-Middle Jomon period (ca. 5,500-4,000 y. B. P.), 3: Late Jomon period (ca. 4,000-3,000 y. B. P.), 4: Late Jomon period-Yayoi period (ca. 3,000-2,000 y. B. P.), 5: Yayoi period-Kofun period (ca. 2,000-1,500 y. B. P.), A: Upland, B: Barrier, sandy ridge, C: Sand dune, D: Embayment, lagoon, E: Swamp, F: Sea, G: Present shoreline. The bold line indicates a former shoreline.

図-2.1.1 九十九里浜における海岸線の前進過程 (森脇、1979)

森脇(1979)は、九十九里平野の地形は、縄文海進以降の屏風ヶ浦、太東岬からの崖侵食による土砂供給等によって、約6,000年をかけて形成されたことを明らかにした<sup>1)</sup>。現在の屏風ヶ浦、および、太東崎の状況を写真2.1.1、2.1.2に示す。

貝塚ら<sup>2)</sup>は地形変化の主要な作用の違いを分類することで、縄文海進以後の約6,000年の堆積作用により海岸低地が拡大したことを明らかにした。森脇<sup>1)</sup>は、縄文海進以後に形成された標記平野の砂堤、砂丘、堤間湿地、谷底平野、旧潟湖の諸地形を、腐植層、<sup>14</sup>C年



写真-2.1.1 屏風ヶ浦の海食崖（2004年9月14日撮影）



写真-2.1.2 太東崎の海食崖（2005年9月14日撮影）



代測定資料、遺跡、歴史資料を用いて編年し、発達史を考察した。千葉県史<sup>3)</sup>には、図 2.1.1 の九十九里浜平野の発達史、図 2.1.2 の飯岡町での海食崖に関する記述、図 2.1.3 の九十九里浜平野地形学図が掲載されている。これらは、屏風ヶ浦が浸食により後退し続けていたことを表している。

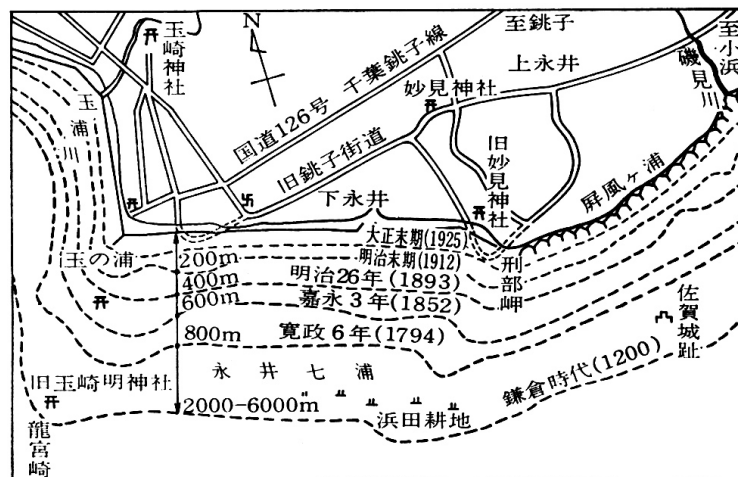


図-2.1.2 飯岡下永井海岸変化図(下永井村絵図 1794、寛政6年の絵図から作成されたもの)

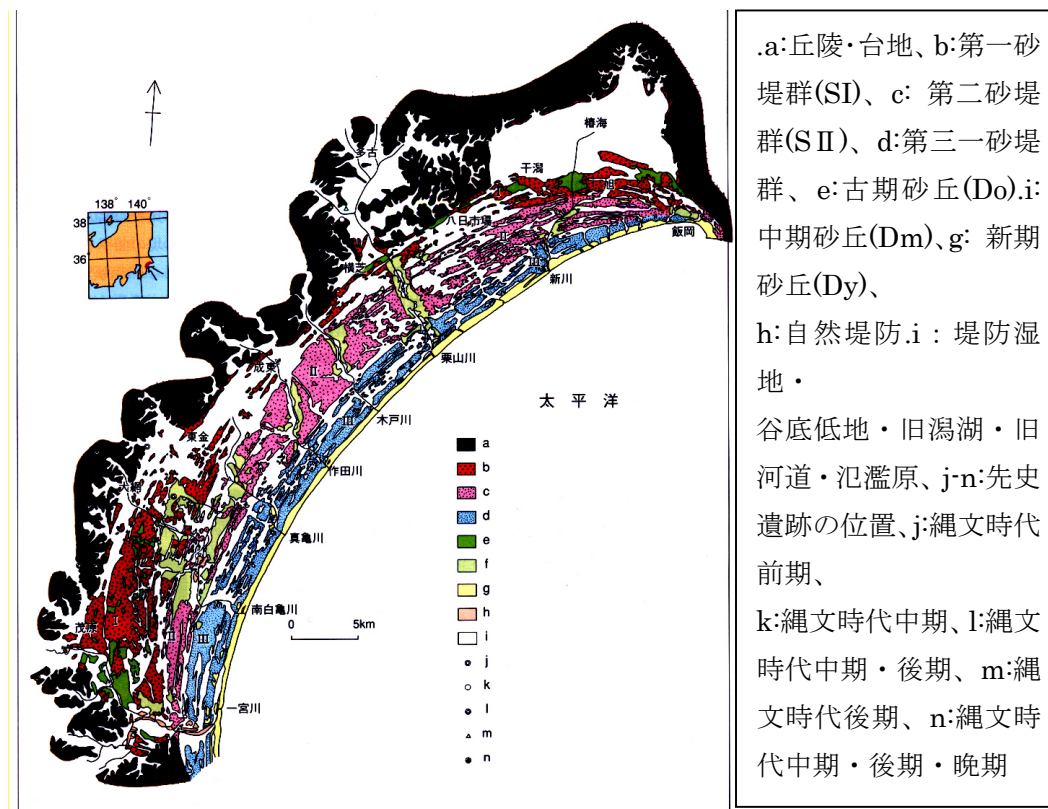


図-2.1.3 九十九里平野の地形学図(森脇、1979)

次に、海浜の地形形成過程に関する事象の定量的評価を行った例を整理する。堀川・砂村<sup>4)</sup>は、屏風ヶ浦の海食崖の後退速度等について一連の研究成果の中で、千葉県屏風ヶ浦～太東崎地区では1960～1966年の間で年平均約62,000m<sup>3</sup>の土砂量が失われたこと、波浪出現頻度との関係では高波浪出現期間では後退速度が増し双方の相関性が認められ、将来の後退距離を任意の推定期間(年数)および高波浪(1.7m)の出現頻度の関数であらわし、出現頻度1.0%では10年で2m後退、10.0%では4年で8m後退と推定している。また、航空写真を用いた海食崖の侵蝕速度は、1960～1967年の間では約0.9m/年で、その間侵蝕に伴い海中に放出された年平均土砂量は海岸線1km当り41,800m<sup>3</sup>/年/km、崖の基部における侵蝕限界波高は0.9mであると解析している。さらに、長期間の海食崖の侵蝕速度は約0.7m/年であり、現在の海岸線とともに指数関数的に減少し水深10mでは0.1cm/年以下、海食崖および海底基盤の侵蝕に伴って供給される土砂量は3.4×10<sup>5</sup>m<sup>3</sup>/年程度であり、そのうち約24%が九十九里海岸方面へ移動していると解析している。

宇多<sup>7)</sup>は、九十九里平野(延長60km,幅10kmとして)の総堆積土砂量を、漂砂の移動高を10mとして、6×10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>と算出した。一方、測量データをもとに、6,000年前(縄文海進極相期)以降の全漂砂量を計算し、2.4×10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>を得たとしている。両者はオーダー的に一致し、10<sup>1</sup>年オーダーの測量データが、10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup>年まで外挿できることを明らかにしている。

砂鉄については、野志ら<sup>9)</sup>は南九十九里浜での現地調査から比重の相違による砂の沿岸分級現象を明らかにし、また砂鉄の岸沖分布特性の解明を試みている<sup>10)</sup>。

## 2.2 九十九里海岸全体の長期的汀線変化

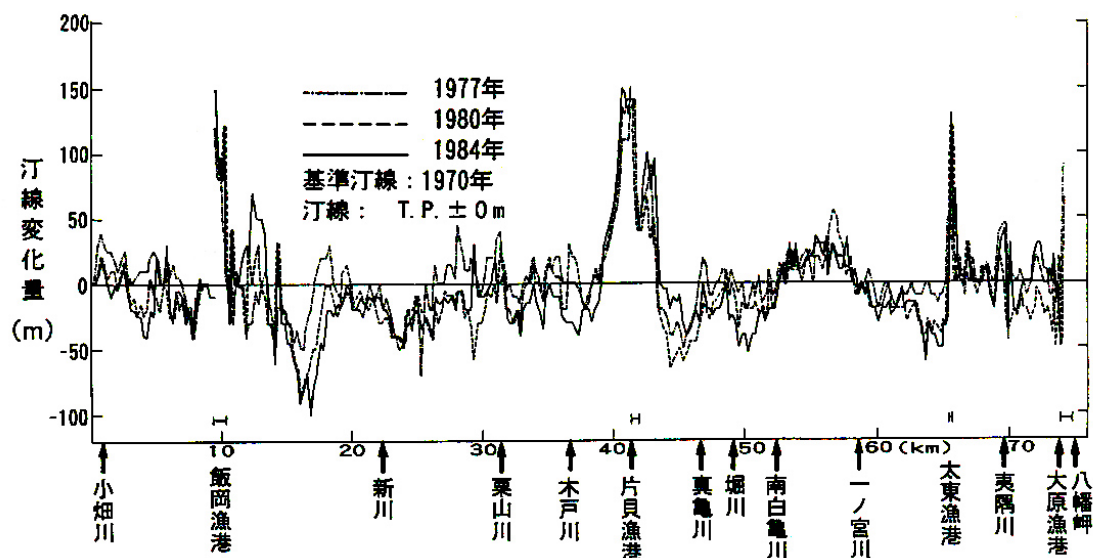


図-2.2.1 九十九里浜の汀線変化(1970-1984)

現在の地形形成(侵食・堆積)の特長を図-2.2.1のグラフから読み取る。

宇多(1989)は、千葉県長生土木(1985)を参照し1970年～1984年の汀線変化を作成した<sup>11)</sup>。グラフから、飯岡漁港、片貝漁港、太東漁港で著しい汀線の前進を読める。

飯岡漁港は、既に述べたように、屏風ヶ浦からの沿岸漂砂が漁港の防波堤により阻止されたため汀線が前進している。この漁港下手側の飯岡海岸も1967年以降離岸堤が築かれ、堆砂効果が表れて汀線が前進した。しかし、飯岡漁港より9km西側までの区域で経年的に侵食区域が広がりを見せている。九十九里中央の片貝漁港は防波堤北側で著しく汀線が前進したが、この南側では2基の離岸堤が1973年～1977年に建設されたため、その部分で汀線の前進があるが、全体的には汀線の後退傾向にある。九十九里南端の太東漁港では、漁港南側で汀線が前進、北側で後退している。ちょうど飯岡漁港の場合と逆の特性を示す<sup>11)</sup>。以上より、1970年～1984年の間では九十九里浜は両端の海食崖からの土砂供給が漁港の防波堤により阻止され、侵食域が九十九里浜中央部分へと広がりつつあることがわかる。個々の海岸の侵食については後述するが、これが九十九里浜の地形を形成する大きな要因である。

#### 参考文献

- 1) 森脇 広 (1979) : 九十九里浜平野の地形発達史, 第四紀研究, 第18-1号, pp. 1-16.
- 2) 貝塚爽平・阿久津純・杉原重夫・森脇 広 (1979) : 千葉県の低地と海岸における完新世の地形変化一都川・古山川合流点付近沖積層の珪藻群集一, 第四紀研究, 第17-4号, pp. 189-204.
- 3) 千葉県史 (1997) : 千葉県の自然史, 本編2-千葉県の大地一, p. 823.
- 4) 堀川清司・砂村継夫 (1969) 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について一航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第2報一: 海岸工学講演会論文集, 第16回, pp. 137-145.
- 5) 堀川清司・砂村継夫 (1970) 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について (2) -航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第3報一: 海岸工学講演会論文集, 第17回, pp. 289-296.
- 6) 堀川清司・砂村継夫 (1972) 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について (3) -航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第4報一: 海岸工学講演会論文集, 第19回, pp. 13-17.
- 7) 宇多高明 (1989) : 九十九里海岸における過去6000年間の海浜形成と近年の海浜変形との関係: 地形10-4, pp. 343-355.
- 8) 宇多高明・高田 修・星上幸良・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼 (2000) : 九十九里海岸における地質年代スケールの沿岸漂砂量の推定, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 686-690.
- 9) 野志保仁・熊田貴之・宇多高明・小林昭男・星上幸良・和田信幸 (2004) : 侵食域の前浜に見られる砂鉄高含有率砂層の形成機構, 海洋開発論文集, 第20巻, pp. 416-420.
- 10) 野志保仁・小林昭男・宇多高明・北賢治・芹沢真澄・熊田貴之(2005) : マクロ的視点から見た砂鉄分布特性と広域漂砂特性, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 611-615.
- 11) 日本地形学連合編(1996) : 地形学から工学への提言, 古今書院, pp. 109-138.

## 2.3 土砂供給源

九十九里浜への土砂供給源となったと言われる北部の屏風ヶ浦付近および南部の太東崎付近について、土砂供給の境界条件を確定し土砂供給源を特定する。

### 2.3.1 九十九里浜北部の土砂供給源

まず、地質年代の情報を整理する。銚子半島の先端部の岩礁は砂岩泥岩からなる銚子層群（中生代白亜紀：1億3500万年～6500万年前）の地層で、房総半島の中でも最も古く古い地層である。これに対して屏風ヶ浦は、砂層泥層の互層となっている下総層群（200万年前）の固結度の低い地層である。

屏風ヶ浦は海食崖として後退が進んだのに対して、銚子半島は浸食による後退が進まず、その地形を維持してきた。図2.3.1で茶色の部分が中生代白亜紀を示す。アンモナイトやサメの歯、トリゴニア貝などの示準化石が産出する。

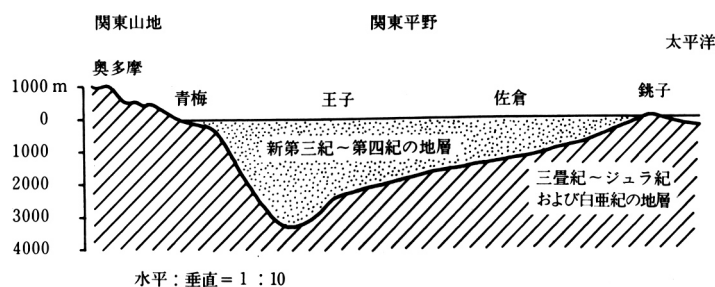
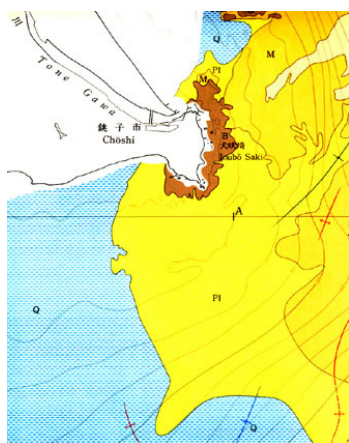


図 2.3.1 銚子半島周辺の海底地形図と海底地質図(国土地理院「海の基本図」より作成) 図 2.3.2 関東山地-関東平野-銚子の地下断面  
新しい地層を取り去ると銚子は 3000m の山<sup>1)</sup>

図 2.3.2 で、銚子の愛宕山が、千葉県で一番古い中生代三畳紀～ジュラ紀であることを説明できる。関東山地から関東平野の地下にもぐり、ふたたび銚子で顔を出している。このことは、関東平野を押し下げ、銚子を持ち上げる力が働いていることを示す。この力が銚子の特殊な地形と古い地層を形成している原因である<sup>1)</sup>。

次に利根川の漂砂の影響を整理する。国土交通省関東地方整備局河川部ホームページに、次のような記述がある。

「古来、利根川は太平洋ではなく、現在の東京湾に注いでいました。現在のような流れになったのは、数次に渡る瀬替えの結果で、近世初頭から行われた河川改修工事は『利根東遷事業』と呼ばれ、徳川家康によって東京湾から銚子へと流れを替える工事が行われまし

た。事業の目的は、江戸を利根川の水害から守り、新田開発を推進すること、舟運を開いて東北との経済交流を図ることに加えて、伊達政宗に対する防備の意味もあったと言われている。工事は徳川家康が伊奈備前守忠次に命令し、1594年会の川締め切りを皮切りに、60年の歳月をかけて、1654年に完了しました。」

よって、1654年以前の九十九里浜の土砂動態に対して、利根川は寄与していないことは明らかである。さらに、1654年以降の利根川からの土砂供給の有無について、宇多<sup>2)</sup>によれば、銚子側にある鹿島灘、および、南側にある九十九里浜の漂砂の移動限界水深は、-9~-10mとしている。銚子半島の東側には3箇所のポケットビーチがあり、それぞれ、アシカ島海水浴場、君ヶ浜、長崎海水浴場の名がついている。このポケットビーチの砂も他の海岸と様子が違い、岩石の多い比較的大きい砂と礫で構成されている。それ以外の海岸は岩礁帯である。前面の海底はおよそ1/10勾配であり、水深-20m程度までの海底面は、岩礁が露出している。海底地形図を見ると、銚子半島は水深-15~-20m程度まで岬が突出していることが分かる。以上より、利根川河口を含む鹿島灘沿岸から銚子半島を越える、または、これと逆向きとなるような沿岸漂砂による土砂移動は生じにくく、利根川から九十九里浜への土砂供給はないと言える。つまり、銚子半島の南側に位置する名洗付近が、漂砂の境界である。

#### 参考文献

- 1) 近藤精造(1992)：千葉の自然をたずねて,築地書店,pp246-247.
- 2) 宇多高明 (1997)：「日本の海岸侵食」,山海堂,p442.

### 2.3.2 九十九里浜南部の土砂供給源

太東崎は九十九里浜南端部に隣接している。日在浦海岸の海岸線は、両端の海食崖に囲まれたポケットビーチになっている(図 2.3.2.1)。



図 2.3.2.1 太東崎山頂から日在浦海岸を望む(中央は夷隅川、2006年1月3日撮影)

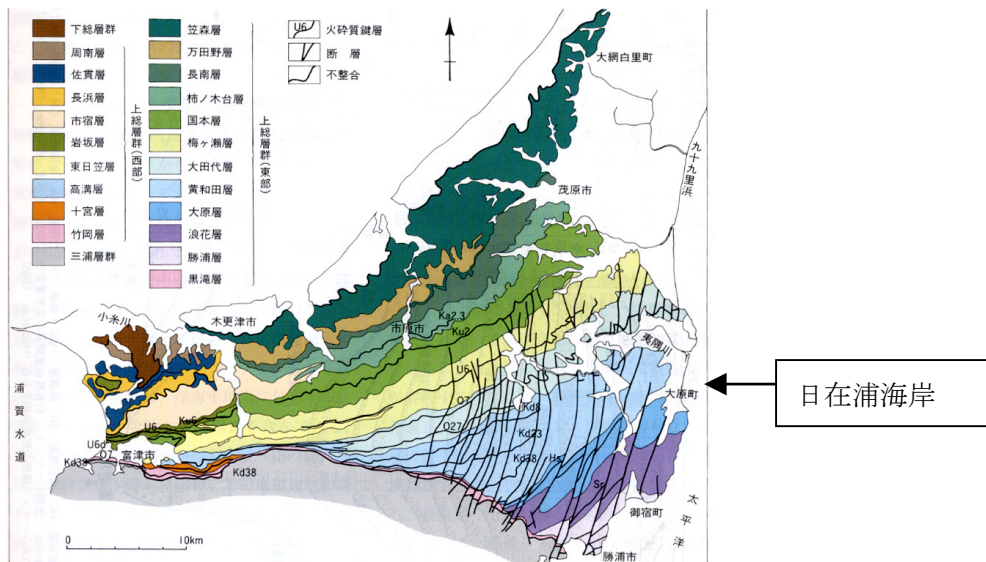


図 2.3.2.2 上総丘陵の地質図(三梨 1973、小玉 1991) (千葉県史より)

地形・地質の資料から地質年代の情報を整理する。図 2.3.2.2 を見ると、この地域は縄文海進の頃は湾入した地形であり、その後、土砂供給を受けて堆積した海岸である。ここに流入する夷隅川は房総半島で最も広い約 300km<sup>2</sup> の流域面積を有する二級河川であり、現在は河川改修もすすみ、上流部にダムが建設中である。流域の土質は太東崎と同じ上総層群

の地層であり、砂分を多く含んでいる。

星上ら（2005）の知見によれば、夷隅川・日在浦海岸が、九十九里浜と同じ漂砂系であることを次のように推論している<sup>1)</sup>。

堀川・砂村<sup>2)</sup>は全長 10km の屏風ヶ浦からの供給土砂量を  $4.18 \times 10^5 \text{m}^3/\text{年}$  としている。南側の太東岬は全長 3.5km であるので同様の供給土砂量があると仮定すれば、合計  $5.6 \times 10^5 \text{m}^3/\text{年}$  が見込まれる。宇多ら<sup>3)</sup>は、地質年代スケールでの太東崎から九十九里浜への沿岸漂砂量を 13 万  $\text{m}^3/\text{年}$  ( $1.3 \times 10^6 \text{m}^3/\text{年}$ ) としている。夷隅川からの土砂量 ( $3.0 \times 10^5 \text{m}^3/\text{年}$ ) は、 $5.6 \times 10^5 \text{m}^3/\text{年}$  のおよそ半分程度、 $1.3 \times 10^6 \text{m}^3/\text{年}$  のおよそ 1/4 程度になり、この土砂量は九十九里浜の形成にとって無視できない量である。以上から、大原漁港南側の岩盤の固い大船谷の海食崖から北側への土砂供給はほとんど無く、大原漁港（日在浦海岸）が漂砂の境界と言えらとする<sup>1)</sup>。

九十九里平野の土砂供給に対して、夷隅川水系は重要な役割を果たしており、ここまでが、九十九里浜の漂砂系である。次ページの図 2.3.2.3 の房総表層地質は、大原の日在浦海岸から九十九里浜の砂が同一であることを裏付けている。

#### 参考文献

- 1) 星上幸良(2005)：地質年代からの時間変化を考慮した海浜形成過程の分析手法に関する研究, pp.22-23.
- 2) 堀川清司・砂村継夫（1972）千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について（3）一航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第 4 報一：海岸工学講演会論文集,第 19 回,pp. 13-17.
- 3) 宇多高明・高田 修・星上幸良・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼（2000）：九十九里海岸における地質年代スケールの沿岸漂砂量の推定,海岸工学論文集,第 47 巻,pp. 686-690.

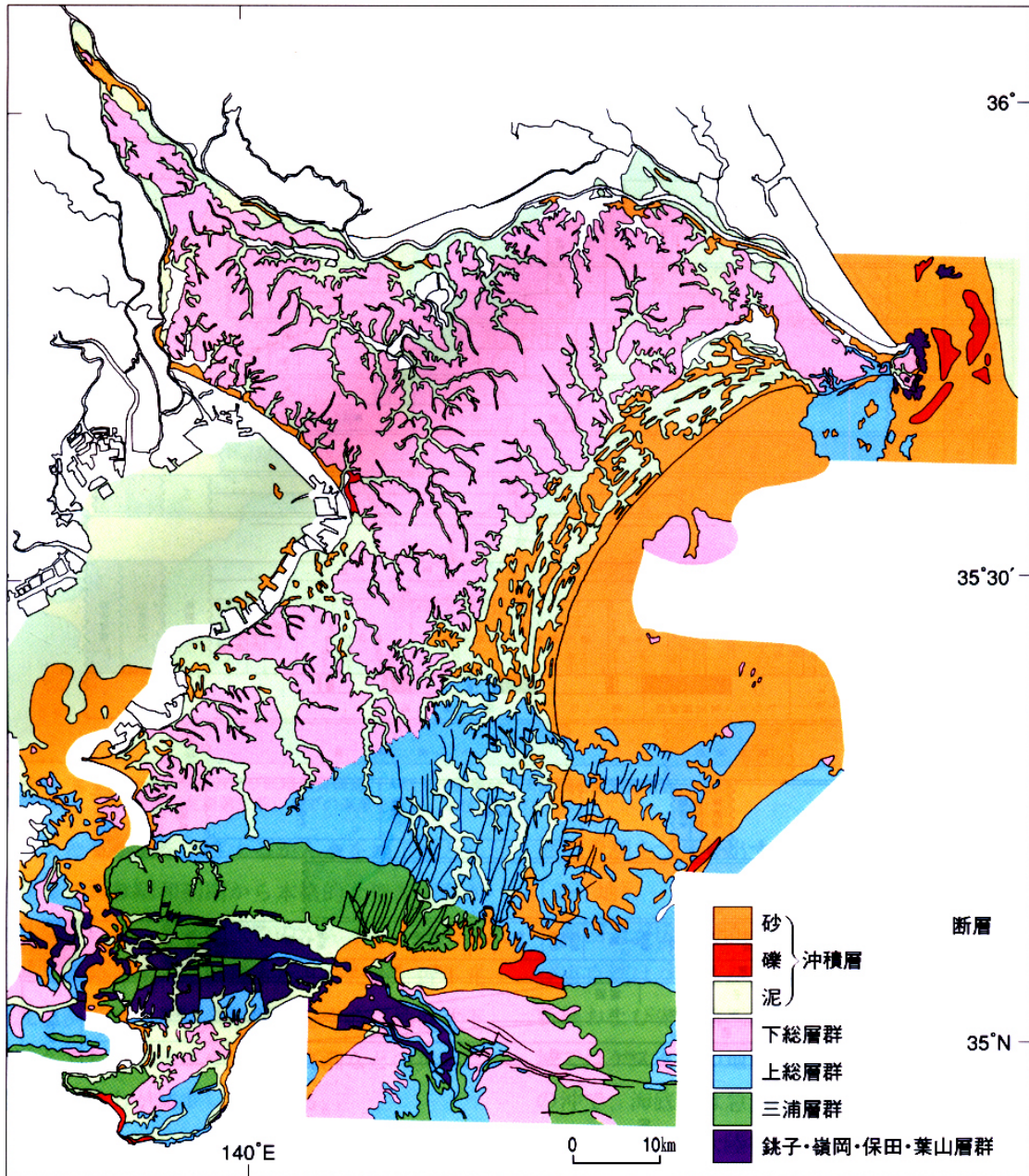


図 2.3.2.3 房総半島沿岸地域の表層地質図(楡井・楠田他 1989)千葉県自然史より引用



## 2.4 第2章のまとめ

九十九里浜は、東北部の屏風ヶ浦から南端の太東岬まで延長約 60km、幅約 10km の大きさで広がる隆起海岸平野(**coastal plain**)である。その勾配は非常に緩やかであり、 $1/50 \sim 1/100$  である。これは、九十九里浜が潮流の影響を受けて堆積した新しい堆積物からなる地形であることを示す。九十九里平野の地形は、縄文海進以降の屏風ヶ浦、太東岬からの崖侵食による土砂供給等によって、約 6,000 年をかけて形成された。地質年代では、最も新しい第4紀沖積世に属する。

九十九里浜北端部の土砂供給源は屏風ヶ浦であり、その北限は屏風ヶ浦北端の名洗付近である。一方、九十九里浜南端部の土砂供給源は太東崎と夷隅川および日在浦海岸であり、その南限は、日在浦海岸南端の大原漁港である。

現在の九十九里浜の地形を形成する大きな要因は、人工物設置による汀線変化である。とくに、飯岡漁港、片貝漁港、太東漁港付近で著しい汀線の前進があるが、1970 年～1984 年の間の汀線変化を見ても、九十九里浜は両端の海食崖からの土砂供給が漁港の防波堤により阻止され、侵食域が九十九里浜中央部分へと広がりつつあることがわかる。

### 第3章 現地踏査と分析方法

この章では、現地踏査で現状を把握し、分析方法の詳細を述べる。

#### 3.1 現地踏査

現地踏査は、2004年4月～2006年1月まで、月に2、3回ほど実施した。図-3.1.1の茶色印が、踏査した範囲である。利根川を挟んで北側は、鹿島港下の茨城県波崎海岸、利根川河口の千葉県銚子市、屏風ヶ浦から九十九里浜南端の太東岬、大原漁港まで約100kmである。現地踏査の目的は、海岸保全にかかわる基本的問題点を理解するためである。

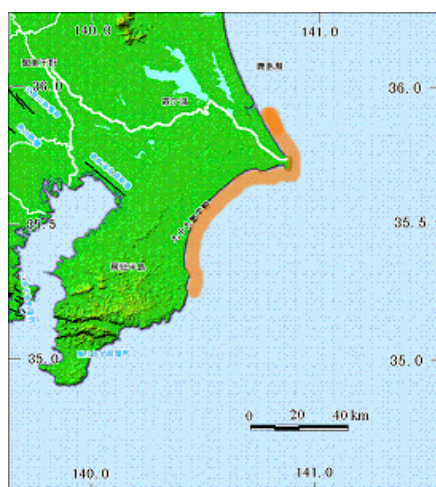


図-3.1.1 現地踏査範囲

屏風ヶ浦は、未固結の砂岩・泥岩でできた崖である。1966年より崖の基部に沿って消波堤の設置が行われ、波による海食崖の後退は防がれている<sup>5)</sup>。堀川・砂村<sup>6)</sup>によると、崖基部の汀線の後退速度は消波堤の設置前後で、0.95m/yrから0.05m/yr(東端;名洗寄り)、または1.4m/yrから0.3m/yr(西端;飯岡寄り)と大きく減速して効果は出ている。**飯岡海岸**では、図-3.2.2のように砂浜が回復したせいで、海浜植物であるハマヒルガオやコウボウムギの群落が見られるようになった。これは、護岸と沖合の離岸堤の効果である。

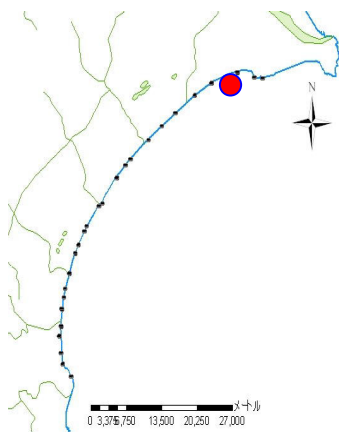


図-3.1.2 砂浜、植生とも回復した飯岡海岸(2005年7月)

飯岡海岸は侵食が激しかったものの、1975年から1986年にかけて10基の離岸堤が建設されている。飯岡漁港の工事（1980年代）で発生した浚渫した土砂を竜王崎に、毎年8万 $m^3$ ほど投げ込んでいたものが、堆積したものとされている<sup>1, 5)</sup>。つまり、この漁港では防波堤の建設とともに東側および港内に土砂が堆積したために、この沿岸漂砂を隣接する竜王崎の先端汀線付近より投入した。このサンドバイパスによる土砂収支はほぼ釣り合っている。よって、ここのサンドバイパスは成功していると言える(図-3.1.3)。



図-3.1.3 砂浜が戻り成功した飯岡海岸

次に、図-3.1.4は前方の遠景に屏風ヶ浦を望む北九十九里浜の野中海岸である。海岸線に直立護岸と消砂ブロックが設置され、さらに北九十九里浜1号ヘッドランドに遮られて漂砂を捕捉できないため、このような殺伐とした風景となった。ここは、以前に砂浜が広がっていたところである。

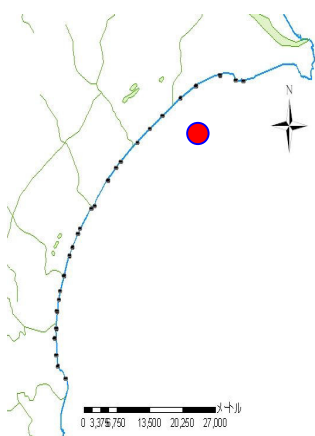


図-3.1.4 消波ブロックと直立護岸の野中海岸(2005年8月)

北九十九里海岸と吉崎海岸の汀線変化では、離岸堤防のある旭市椎名内海岸でのみ汀線の前進が見られる。それより西側に位置する区域では、十分な堆砂効果を発揮していない。旭市と八日市場の境界辺りにある 5 号ヘッドランド（図-3.1.5）にやっと砂がついたが、冬季はこの西側が侵食される。侵食は、徐々に南下している。



図-3.1.5 5号ヘッドランドの西側は冬季に侵食される

飯岡から片貝漁港の中間にあたる野手海岸は、砂の供給が止まり、激しい侵食に見舞われているところである（図-3.1.6）。

図 3.1.7 は、さらに西側の海岸線（栗山川南側）の写真である。海岸線には直立護岸と大量の消波ブロックが設置され直角方向には突堤も突き出ており、ここも殺伐とした風景となっている。



図-3.1.6 野栄望洋荘前の海岸侵食

図-3.1.7 栗山川南側の直立護岸

片貝漁港（図-3.1.8）は、ハの字型の防波堤を有し、作田川の河口を兼ねている。この防波堤によってせき止められ、北側には堆砂が、南側では侵食がおこっている。この辺が九十九里浜の離岸流の激しいところと言われている。

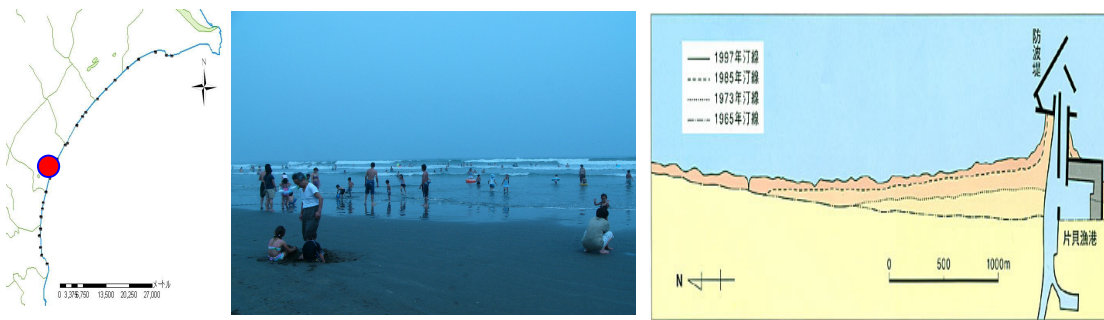


図-3.1.8 本須賀海岸(中央)と九十九里浜中央にある片貝漁港<sup>1)</sup>の汀線の伸び図

九十九里浜中央の片貝漁港の北と南海岸は砂が堆積し広がっているところであり、ここでは海岸まで行くのに砂浜を大分歩かなければならないという悩みがある。あり余った海岸に違法な海の家が陣取り、その撤去に行政側が手を焼いている。

地もとの声では、こんなに余った場所があるのになぜ利用しないのかという不満の意見も出るほどである。こうした砂の多さに悩む地区も、やがて人工物に砂の移動が遮断されて砂の供給が止まれば、侵食に転じると考えられる。

さらに、南に下ると、だんだん砂浜の幅が狭くなっていくのがわかる。まだ、護岸がされていないために、前浜が失われ浜崖を目にする(図-3.1.9)。



図-3.1.9 一宮海岸の浜崖(中央, 2005年9月)と砂鉄で黒い東浪見海岸(右, 2005年8月)

侵食が激しく、砂浜は黒い砂鉄が強烈に印象に残る海岸が一宮海岸である。一番黒く砂鉄分の多い場所は、東浪見海岸であった。侵食が急速に進んでいるせいも、どこでも護岸工事が急ピッチで進められている。ここ2, 3年で、海岸の風景は一変するであろう。



写真 3.1.10 南九十九里浜で行われているフトンカゴ式護岸工事現場(2005年6月撮影)

### 3.1.1 現地踏査のまとめ

北端の飯岡地区は侵食が激しく、江戸時代から海岸侵食との戦いであったために、近代的な護岸工事が先進的に取り組まれてきた結果、現在では九十九里中央部の片貝に匹敵する砂浜の回復をし、海岸の植生も回復してきている。一方、北九十九里浜の漂砂下手側には12基のヘッドランドが設置されている。この地区は保安林の海側に防護するための土堰堤が設置され、さらに海側には管理用通路と直立護岸、緩傾斜護岸、消波ブロックが設置されており、砂浜は消えて人工化された浜辺となっていた。

砂浜が残っている部分は、九十九里浜中央部にかけてである。中央部の片貝は砂浜が広がり過ぎて海岸が遠くなるなど堆積で悩む地区となっていた。中央部を過ぎて、さらに南下するに従い、侵食が激しく砂丘を直接削るハマガケが多くみられ、いたるところで護岸工事が進められている。この工法はフトンカゴ式護岸と呼ばれ、写真 3.1.10 のようなものであった。一宮地区に10基のヘッドランド、一松地区に3基のヘッドランドが計画され、そのうち合計12基のヘッドランドが姿を現している。

99里浜の侵食は砂が沖向きに流出したために生じたのではない。沿岸漂砂の不均衡により生じたものであるから、侵食箇所の保全を進めても新たに漂砂下手方向で侵食を生じることになってしまっている。したがって、海岸保全をするには、より広域に長期的に海岸全体を見渡しながら保全を図るべきである。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本財団 (2001) : 続日本の海岸はいま・・・九十九里浜が消える～漁港と海岸線の変遷～,pp6.
- 2) 小関与四郎他(2005) : 消えた砂浜,九十九里浜五十年の変遷,pp131-133.
- 3) 千葉東沿岸海岸保全基本計画 第二回検討委員会 議事録(2/2)。
- 4) 堀川清司(1991) : 海岸工学 pp330-333,東京大学出版会.
- 5) 宇多高明(1997) : 日本の海岸侵食 pp.91-101,山海堂.
- 6) Tsuguo Sunamura(1972) : Coastal Cliff Erosion and Its Engineering Significance.
- 7) 宇多高明(2004):海岸侵食の実態と解決策 pp186-198,山海堂.

### 3.2 採砂地点

ヘッドランド左右の採砂をするため、図-3.2.1.1 にヘッドランドの位置を示す。ただし、片貝漁港では新堤防の位置を示した。また、過去の研究エリアとの比較のため、約2 km ごとの採砂位置も図に示す。

#### 3.2.1 ヘッドランド左右の採砂場所

ヘッドランド左右について砂粒径の分析のため、ヘッドランドのある場所と九十九里浜中央にある片貝漁港で採砂した。これは、左右の砂粒径の違いによる漂砂の卓越方向を推定する目的で調査した。位置を図-3.2.1 と表-3.2.1 に示す。

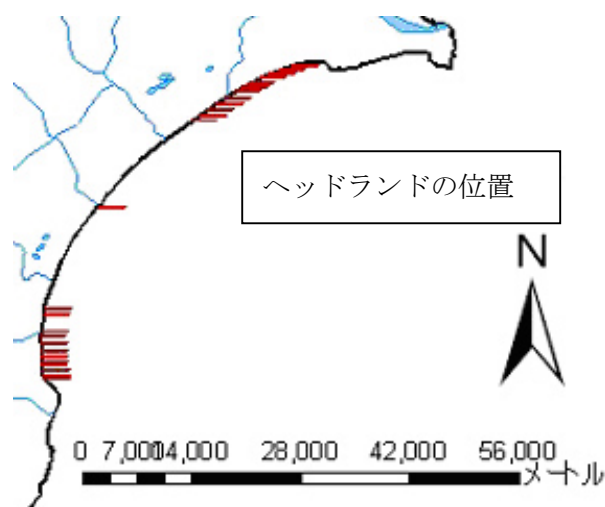


図-3.2.1 九十九里浜のヘッドランド既設・建設中位置図

番号	場所	緯度(°)	経度(°)			
				13	片貝新堤	35.53255556 140.4585
1	北 99HL1	35.69686111	140.6810278	14	一松 HL	35.41391667 140.3956389
2	北 99HL2	35.69205556	140.6660278	15	城の内 HL	35.40702778 140.39425
3	北 99HL3	35.68797222	140.6546389	16	一宮 HL1	35.38861111 140.395
4	北 99HL4	35.68288889	140.6431111	17	一宮 HL2	35.38233333 140.38925
5	北 99HL5	35.67569444	140.62975	18	一宮 HL3	35.37425 140.39125
6	北 99HL6	35.67136111	140.6223333	19	一宮 HL4	35.36566667 140.3911944
7	北 99HL7	35.66663889	140.6146667	20	一宮 HL5	35.35883333 140.3914167
8	北 99HL8	35.65897222	140.6035278	21	一宮 HL6	35.35211111 140.3919444
9	北 99HL9	35.65186111	140.5935556	22	東浪見 HL7	35.34844444 140.3922778
10	北 99HL10	35.64477778	140.5835	23	東浪見 HL8	35.34258333 140.3933333
11	北 99HL11	35.63905556	140.5750278	24	東浪見 HL9	35.3365 140.394
12	北 99HL12	35.63297222	140.56575	25	東浪見 HL10	35.33475 140.395

表-3.2.1 ヘッドランド緯度・経度(HLはヘッドランドの略、北側から1号基)



### 3.2.2 1970年データと現在比較のための採砂場所

既往研究にあるデータとの比較を行うため、九十九里浜を約2kmごとに採砂した。位置を図3.2.2と表3.3.2に示す。

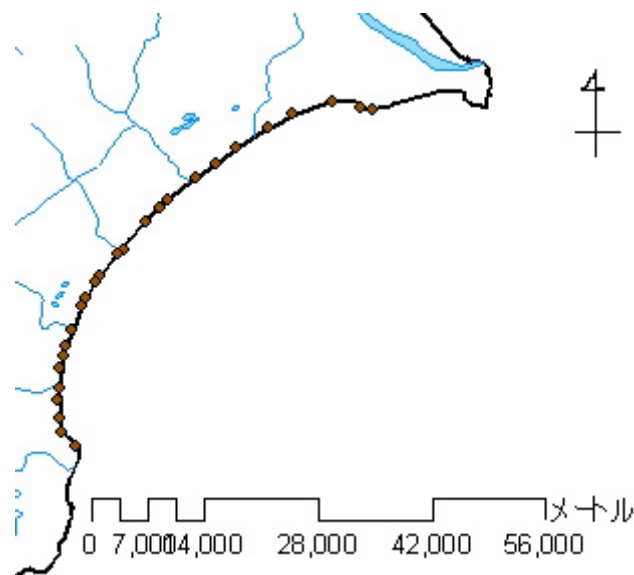


図 3.2.2 約2km毎に採砂した地点

番号	場所	緯度(°)	経度(°)	番号	場所	緯度(°)	経度(°)
1	飯岡崖下	35.69255556	140.7392778	14	豊海海水浴場(塔)	35.50733333	140.43625
2	飯岡港公園右	35.69363889	140.7251111	15	サンライズ hotel 前	35.50102778	140.4322222
3	三川浜(西 HL)	35.69963889	140.6953333	16	白里海水浴場	35.48375	140.4221389
4	仁玉浜 HL3右	35.68615	140.6508667	17	南四天木海水浴場	35.47325	140.4166389
5	吉崎浜 HL6 右	35.67111667	140.6224167	18	南白亀川南	35.44819444	140.4061111
6	野手 HL10 左	35.64866667	140.5887333	19	中里海水浴場	35.42905556	140.3993889
7	栢田浜 HL12 右	35.63263333	140.5658333	20	一松海水浴場	35.418	140.39725
8	木戸浜	35.61519444	140.5426944	21	一宮川北側	35.40380556	140.3933333
9	蓮沼海岸中下海岸	35.59136111	140.5121944	22	一宮海水浴 HL2 右	35.38194444	140.3919167
10	蓮沼海浜の森	35.58361111	140.5031667	23	一宮 HL3~HL4 間	35.36988889	140.3890278
11	松ヶ谷海水浴場	35.56772222	140.4876944	24	東浪見 HL7 左	35.34861111	140.3925
12	片貝港内	35.53558333	140.4635278	25	東浪見 HL10 左	35.33475	140.395
13	片貝海水浴場	35.53252778	140.4575556	26	太東岬須谷浜	35.31925	140.4099444

表 3.2.2 採砂場所緯度・経度

### 3.3 砂資料の処理方法

ここでは、採砂サンプルを次のような、分析項目にしたがって、処理をしたことを述べる。分析項目は、粒度分析、含水比、砂鉄含有分比、比重、円磨度、球形度である。他に、汀線変化量との関連を調べた。デジタル顕微鏡で、実際の砂の写真判定をした。

#### 3.3.1 粒度分析

最初は、篩いを使って、粒度分析を行っていたが、能率があがらないので、レーザー回折式粒度分布測定装置を使用した。レーザー回折・散乱粒度測定法とよばれている<sup>1)</sup>。

レーザー回折・散乱粒度測定法は、粒子はその大きさに応じて、一定の角度で光を回折するという原理（フラウンホーファー則）に基づいている。単色光の平行な光が、試料が分散された試料セルを通過する際に、粒子の大きさに応じた回折をうける。その回折の位置と多さを多層構造の円盤状センサーで受信し、大きさの頻度分布に置き換える（図3.4.1.1）。回折を受けなかった主光線はセンサーの中心に収束し、測定から除かれる。また、 $2\mu\text{m}$ 以下の極細粒部については散乱光の測定から、粒度分布を読みとる。 $2\mu\text{m}$ 以下の測定には問題が多い。この装置は迅速で正確な測定ができるという利点がある。欠点は、ミクロン以下の細粒部の測定能力が弱いこと、その細粒部に必ずしも信頼性のない頻度分布を仮定して解析していることである<sup>1)</sup>。

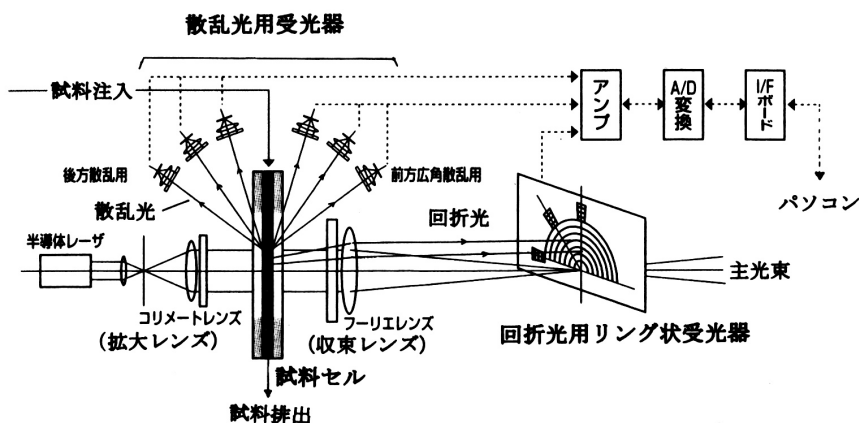


図 3.3.1.1 レーザー式解析・散乱法による粒度分析装置の仕組み<sup>1)</sup>



図 3.3.1.2 使用した島津製 SALD-3000 型レーザー回折式粒度分布測定装置

### 3.3.2 含水比

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100(\%) \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 $m_w$ は水分、 $m_s$ は土粒子 含水比試験は、式(1)で定義されるように、土粒子の質量にたいする間隙に含まれる水の質量の割合を百分率で表したものである。この値は、次の2種類の方法がある。

- ① 炉乾燥法：110° ± 5° Cの炉乾燥によって水を蒸発させて求める方法
  - ② 電子レンジ法：電子レンジによる加熱で水を蒸発させる方法<sup>2)</sup>
- 自宅でできる方法として、②を採用した。

### 3.3.3 砂鉄含有量比

砂は、乾燥機で110° Cで24時間乾燥させ、10gほどとる。永久磁石を薬包紙で包み、砂鉄分を分離する。回数は、5回～7回ではほぼ分離できる。電子秤量計に載せ、重量を測る。砂鉄と砂鉄分の合計の重量で、(砂鉄分/全量) × 100%で表した。

### 3.3.4 比重

#### 簡易比重計の原理

鉱物の比重は、試料となる鉱物の重さと体積を測定すれば、計算で求めることができる。しかし、この方法では、重さを測定する器具(量り)と、体積を測定する器具(メスシリンダーなど)が必要である。重さと体積の両方を正確に測定しなければならない。使用する計器の数を増えれば、測定器の不正確さの影響も増える。そこで、一工夫して、重さのみを測定することによって比重を求める方法で比重の測定は行われている。

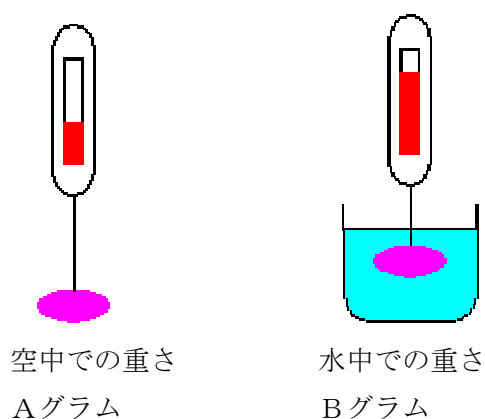


図-3.3.4 簡易比重計の原理

まず、鉱物に糸を付けて空気中につるしながら重さを量る(重さはAグラムだったとする)。鉱物の体積をVとすれば、鉱物の比重Dは、次の式で表される。

$$D = A/V \quad \dots \dots (1)$$

次に、鉱物を水の中へ移し、再び、重さを量る（重さはBグラムだったとする）。物体を水に入れると、物体の体積と同じ体積の水の重さが、浮力として、物体に働く（アルキメデスの原理）。この原理と水の比重が1であることより、水による浮力（A-B）には、次のような式が成り立つ。

$$A - B = V \quad \dots \dots (2)$$

式（2）と式（1）から次式をえる。

$$D = A / (A - B) \quad \dots \dots (3)$$

（3）式を使えば、重さを量るだけで、比重を求めることができる。

この方法で、比重を求める簡易比重測定器が市販されており、鉱物や宝石の鑑定に利用されている。砂の場合は、糸でつるすかわりに容器に入れて測定する。水に沈めることができる砂の場合、この方法で比重を求めることができる。

写真-3.3.4のような比重計で測定した。砂は浮かないので、比較的能率がよい。



写真-3.3.4 電子比重計 (MA83-300SG 型 Shiro 産業製)

### 3.3.5 軽鉱物、微化石

軽い砂には、軽鉱物や有孔虫などの微化石が含まれているので、これについては、デジタル顕微鏡で、観察・測定した。写真 3.4.5 のような顕微鏡で、デジタル写真が撮る他、ミクロン単位の砂の長さ・面積が測定できるので、岩石の観察と同じように、円磨度、球形度を判定できるので、便利である。



写真 3.3.5 デジタル顕微鏡 (SB-600MU 型、内田洋行製)

### 3.3.6 円磨度・球形度

#### 3.3.6.1 砂の粒度と円磨度

海岸は、いろいろな砂から構成されている。まず、粒度と円磨度について簡単に解説する。

2mm から 0.063mm までの大きさの粒を砂と呼ぶ。2mm より大きな粒は礫、0.063mm より小さな粒は泥である (図-3.3.6.1.1)。砂はさらにその大きさに応じて極粗粒・粗粒・中粒・細粒・極細粒の 5 つの大きさに細分される (図-3.3.6.1.2)。CGS 単位で表した大きさ (d mm) に対して、2 を底とする対数のマイナス値をファイ ( $\phi$ ) 値と呼ぶ。

$$\phi = -\log_2 d / d_0 \quad (d: \text{粒径}, d_0 = 1\text{mm})$$

この式から砂は  $-1\phi$  から  $4\phi$  までの大きさとなる。細分された粒径の境界値は正数となり、統計で扱うのに便利となる。

	砂						泥
	礫	極粗粒砂	粗粒砂	中粒砂	細粒砂	極細粒砂	
mm	2	1	0.5	0.25	0.125	0.0625	
$\phi$	-1	0	1	2	3	4	

図 3.3.6.1.1 粒子の径による区分

顕微鏡で見ると、海岸の砂は無数の異なる大きさの粒子からなっていることがわかる。中には礫の大きさの粒や泥の粒も混じっていることもある。この粒子の集まりは実際にはいろいろな大きさの粒子の混じり具合に応じて分類される (表 3.4.6.1)。

区分%		呼び方
礫	> 80%	礫
礫>砂	>10% ほか<10%	砂質礫
砂>礫	>10% ほか<10%	礫質砂
砂	> 80%	砂
砂>泥	>10% ほか<10%	泥質砂
泥>砂	>10% ほか<10%	砂質泥
泥	> 80%	泥

表 3.3.6.1.2 混合粒子群の区分名称

このいろいろな大きさの粒が混じり合った粒子群について、その粒子の径の分布状態はふるいや沈降管を用いて分析し、その結果を係数でもって表す。もっともよく使われる係数として平均粒径と分級度がある。分級の程度を大きく5つに分けるときの目安が図-3.3.6.1.3である。同じくらいの径を持つ粒子が集まっている場合が「良く分級されている」、あるいは「良く淘汰されている」と表現される。海岸の砂は波に洗われ、ふつうは良い淘汰を示す。しかし、時にはあまり淘汰が良くない場合もある。それは砂粒を供給した場（元の岩石が分布していた場）が近くにあったこと、そして、そこから運ばれてきてまだ間がないことなどを示す。

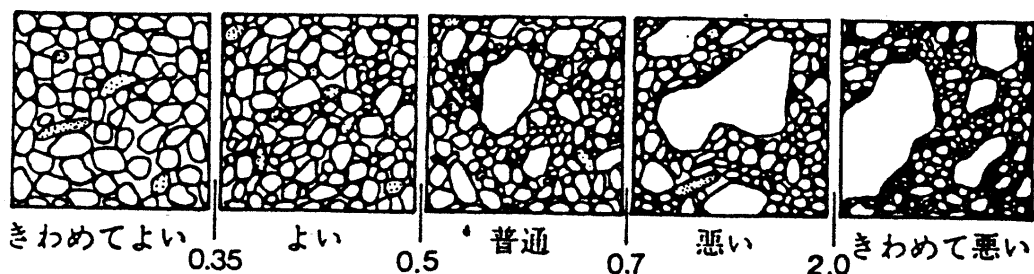


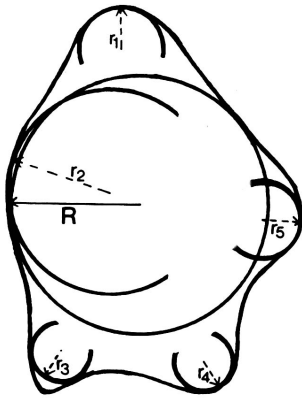
図 3.4.6.1.3 堆積物の淘汰度印象図

各クラスの境界を示す数値は $\phi$ 値で表した径分布の標準偏差値

海岸の砂は波に洗われ粒子の角がとれ、丸みを帯びる。この粒子の角のとれ具合を円磨度と呼ぶ。岩石が破壊された直後は角があり、角のとれ方は、普通丸いものほど遠くから運ばれてきたものとみなすことができる。

### 3.3.6.2 円磨度(roundness)の定義と判定簡便法

円磨度は下図のように、角に内接する球の半径と粒子に外接する球の径などから求める。Wadell(1932)は、粒子のすべての角に内接する円の半径を平均したものを内接する最大の円の半径で割った値をもって円磨度を定量的に表わした。



$$\text{円磨度} = \sum_{i=1}^n \frac{r_i}{nR}$$

ここで、 $r_i$ は、礫のすべての角(個数  $n$ )に内接する円の半径、 $R$  は礫に内接する最大円の半径

図-3.3.6.2.1 円磨度の求め方(Wadell,1932)

砂の円磨度の定義も礫と同じである。今では図 3.3.6.2.2 と比較して、そのクラスを決めたり、さらに簡単には図-3.3.6.2.3 と対照して、その程度を表したりする。時間的・技術的制約から、円磨度印象図と比較して判定される。

Krunbein(1941)は、円磨の形を視覚的に読み取る印象図を作成している。

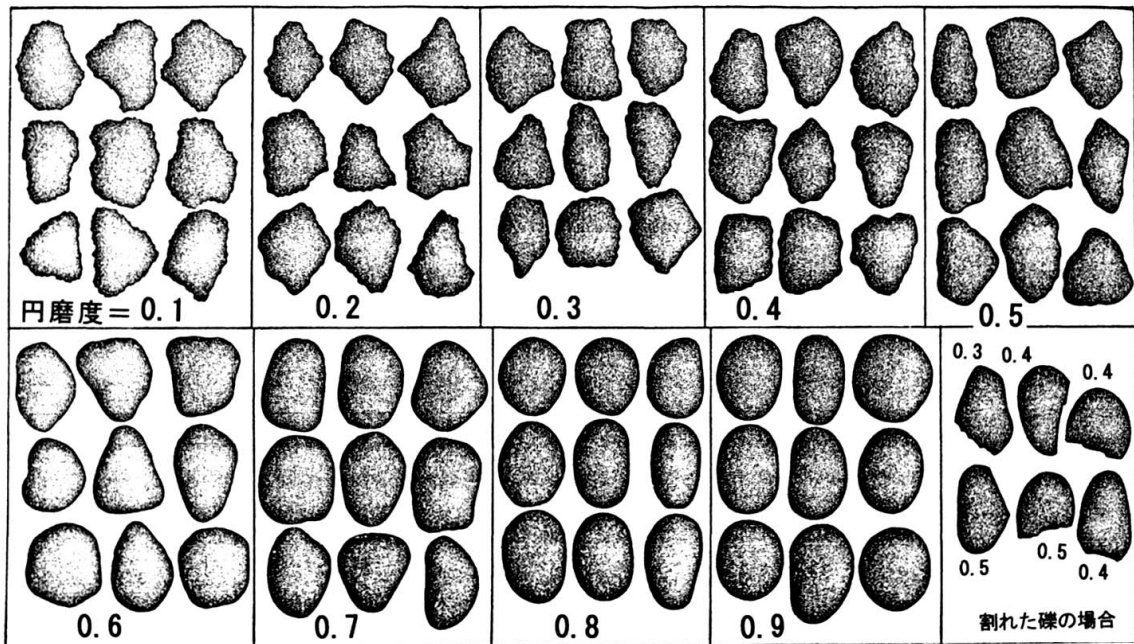


図-3.3.6.2.2 円磨度印象図(Krunbein,1941)

Powers は、円磨の程度を、角の多い礫と丸い礫の間に 6 つの区分を設けて表現した (図-3.3.6.2.3)。

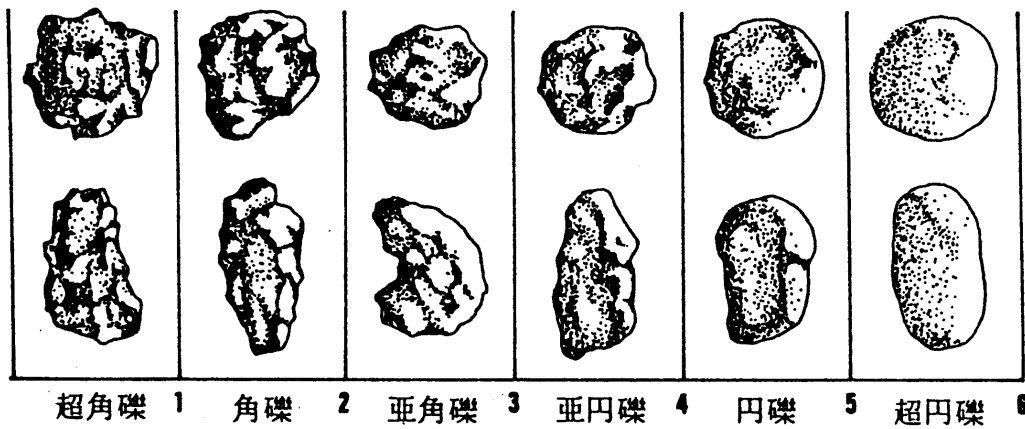


図 3.3.6.2.3 円磨の程度のクラス分け  
(Powers,1953 をもとに、Pettijohn et al.,1972 が作成)

### 3.3.6.3 球形度(sphericity)

次に、球形度について述べる。礫が均等に摩滅されて伸びや扁平さがなくなり、球に近い形になった目安を示すのが球形度である。砂の球形度も礫と同じであるが、砂を構成する極めて多量の粒子について、3次元的な大きさの測定を行うことは実際上きわめて困難である。そこで、2次元的に投影して表現した外形の円形度と比較して、個々の砂粒の球形度を求める。簡便な球形度の求め方として Rittenhouse(1943)がよく使われる。

資料間の比較を適正にするために、特定の鉱物に決める。よく、砂や砂岩に多く含まれる石英粒子が用いられる<sup>2)3)</sup>。

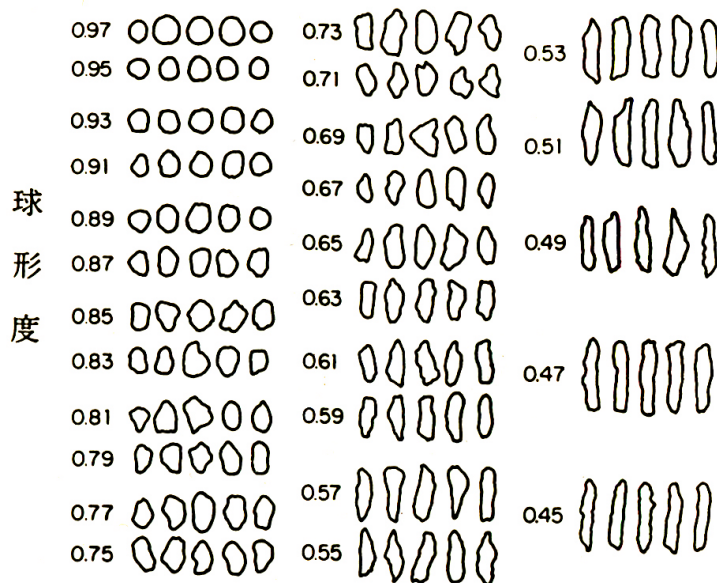


図 3.3.6.3 球形度印象図(Rittenhouse,1943)



円磨度・球形度は、図を参照しながら、石英を5個選んで、その平均をとり、数値化した。

#### 参考文献

- 1) 公文富士夫・立石雅昭(1998)、地学双書 29 新版碎屑物の研究法、地学団体研究会、pp126-156.
- 2) 地盤工学会(2001)：土質試験 基本と手引き、丸善、p.17.
- 3) 保柳・公文・松田(2004)、堆積物と堆積岩、共立出版、pp103-104.

### 3.3.7 砂鉄

#### 3.3.7.1 千葉県の砂鉄鉱床

砂鉄は、岩石中に含まれた鉄鉱物が岩石の風化・分解の結果遊離して、その一部は現地に残留し、大部分は河水・海波・風等によって運搬・淘汰されて沈積したものである<sup>1)</sup>。稼行価値のある鉱床の大部分は、現世および洪積世の生成に属するため、現在の海浜や海岸平野に多い。わが国の重要な産地としては、北海道噴火湾沿岸・下北・上北(青森)・久慈(岩手)及び千葉県海岸等が挙げられる。

砂鉄鉱床は、存在の場所によって、山砂鉄・川砂鉄・湖岸砂鉄・浜砂鉄に分けられる。そのうち、浜砂鉄は、もっとも重要なもので、海浜の汀線付近、海岸平地中あるいはこれに続く海岸山地の山麓部にも産する。浜砂鉄の集中し易いのは絶えず砂粒を打ち寄せると同時に、その大部分を再び洗い流す部分で、海岸線がほぼ一定の位置に停止し、海食輪廻が平衡に近い状態にあるところである。一般に海砂中の砂鉄の分布は不規則で、同じ海岸線に沿っても砂鉄に富む部分と、ほとんど砂鉄を含まない部分とがある<sup>1)</sup>。

砂鉄の埋蔵地は、下図のように、九十九里浜北部・太東岬付近・外房海岸および富津海岸にかけてで、埋蔵量は、約7,000万tと推定されている。1964年には、19.8万t(国内生産の17%)の採取が行われ、主な採取地は、九十九里浜北部の飯岡であり、千葉市の東邦工業千葉工場に供給されていた<sup>2)</sup>。

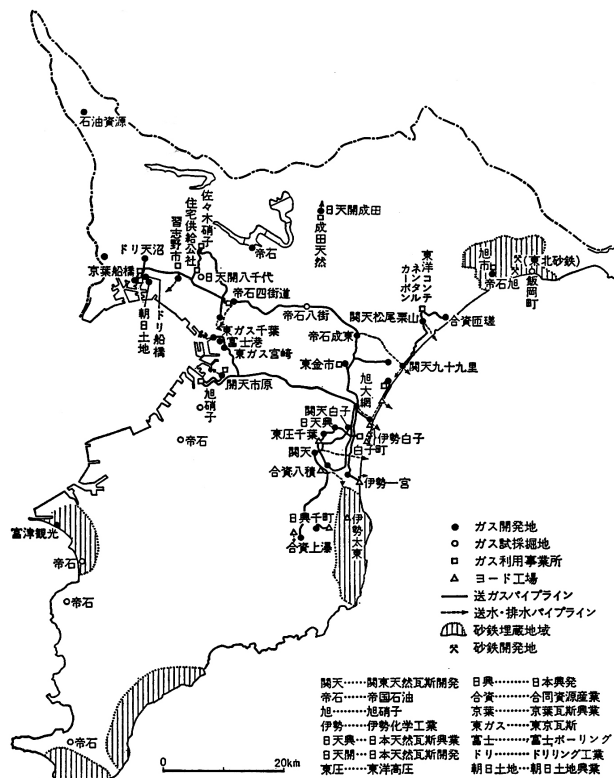


図 3.3.7.1.1 千葉県における地下資源の開発と利用地(千葉県「千葉県地下資源開発利用図 1967」による、斜線部分が砂鉄産地)

房総以北の砂鉄は、チタン分に富み、銀白色の金属であるチタンを抽出して、その強度・耐食性・軽量を利用して航空機、船舶はじめ多くの構造用材料となっている。

「房総半島と中国地方の砂鉄の化学分析値」と題する高橋(2005、千葉県立中央博物館上席研究員)によると、千葉県富津市十宮海岸と島根県横田町羽内谷の砂鉄成分は、下表のようである。千葉県の砂鉄には、チタンが多いことがわかる。

金属酸化物	産地			産地		
	千葉県富津市十宮海岸			島根県横田町羽内谷		
	A	B	C	A	B	C
SiO <sub>2</sub>	0.79	0.94	1.11	2.14	0.29	0.41
TiO <sub>2</sub>	6.59	11.06	6.33	0.29	0.26	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.37	2.05	5.08	0.33	0.41	0.46
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.38	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO#	81.94	84.16	84.11	96.77	98.72	98.73
MnO	0.00	0.79	0.66	0.32	0.33	0.00
MgO	3.94	0.75	2.71	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total(wt%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

表 3.3.7.1.1 房総半島と中国地方の砂鉄化学分析値 \*分析は国立科学博物館の EDS(エネルギー分散型 X 線分析装置)

北九十九里浜の飯岡・旭地方の砂鉄採取に関係した採取会社は、カネヤス鉱産株式会社と東北砂鉄鉱業株式会社の2つであった。前者は、昭和31年設立、昭和44年には生産量82,900tを誇り、後者は、昭和27年設立、昭和44年生産量64,500t、両者とも高炉製鉄原料として、日本鋼管・川崎製鉄に販売された。当時のわが国の製鉄業原料に使用する鉄鉱石は、約2,500万tで、その80%を輸入に頼っていた。鉄鉱石の輸入を軽減し、国内の資源活用を図るために砂鉄の利用が注目されたのである。

南九十九里浜では、夷隅川河口には砂鉄業の昭和砂鉄(株)太東工場が太東町和泉に昭和20年の終戦まで経営し乾式選鉱機により砂鉄を採取、日産砂鉄10~15トンであった。砂鉄の鉄分含有量では日本でも有数の優良砂鉄地帯として知られていた。従業員は40~80名ほどである。昭和23年2月、前の昭和砂鉄(株)太東工場を継承して「太東工業株式会社」が設立され、湿式選鉱機により日産砂鉄15~30トンであったが、昭和30年に至り、需要が減少し操業を中止した(『岬町史』)。東浪見は有名な砂鉄産地であった。

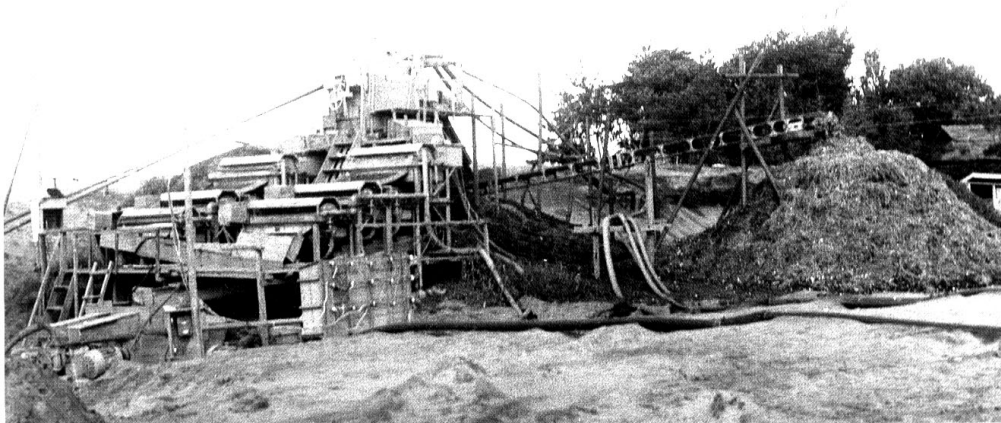


図 3.3.7.1.2 三連式磁力選鉱機<sup>3)</sup> (1960 年頃、飯岡町)

#### 引用文献

- 1) 地質調査所編纂(1954)：日本鉱産誌 主として金属原料となる鉱石、工業技術院地質調査所、pp21-22.
- 2) 日本地誌研究所(1967)：日本地誌 8 千葉県・神奈川県、二宮書店、pp54-55.
- 3) 千葉県：千葉県自然誌別編 1、pp235.

#### 3.3.7.2 砂鉄層調査

南九十九里浜の東浪見海水浴場に砂鉄分が多いので疑問に感じ現地調査をたびたび行った結果、次のことがわかった。下図写真のように、幅 150m、深さ 3~5m (推定) のレンズ状の砂鉄層が、浜崖となっていて直接海に流れ出していた。背後の砂丘も 1m くらい下から砂鉄層である。表層は泥が固まり舗装されているような駐車場、その下は、関東ローム層の養浜用土である。粘土質から下層が砂鉄層であることが観測された。

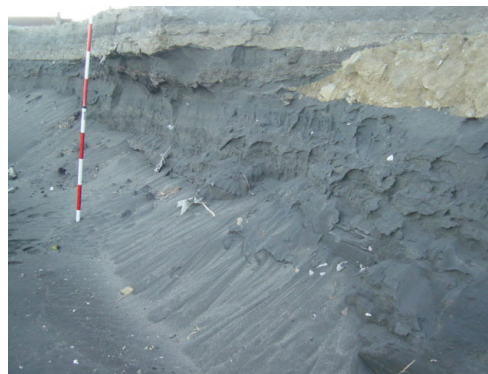
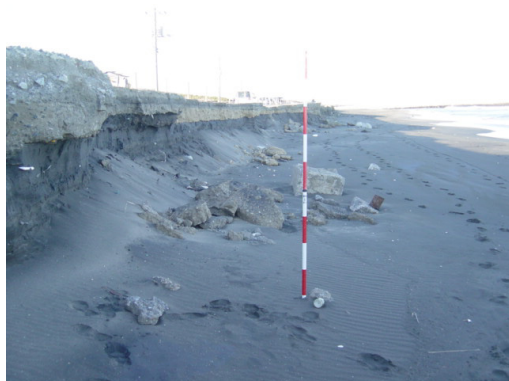


写真 3.3.7.2 砂鉄層から直接流れ出している砂鉄(東浪見海水浴場)

## 第4章 分析結果および考察

この章では、実際の粒度分析結果から九十九里浜に設置されたヘッドランド付近の漂砂卓越方向を推定する。また、人工物ができる前の砂粒度データと現在 2005 年のデータとを比較して人工物の影響を調べる。

砂を比重や石英との比重比較、砂鉄分布、含水比という角度からも分析、考察する。また、過去データを使い、現在との対比において、汀線変化量の変遷、砂幅の減少の原因を考察する。

### 4.1 粒度分布

粒径は、漂砂の卓越方向に向けて小さくなると言われており、粒径の大小から沿岸漂砂の卓越方向を推定することができる。九十九里海岸では、粒径と卓越方向の相関が高い (Sunamura・Horikawa,1971)。粒径と淘汰度の両方を指標にすれば卓越方向を推定できる (Sunamura・Horikawa,1972) とされている<sup>1)</sup>。その上、粒径は侵食の進行度を推定するのにも有用で、侵食が進んだ海岸では、前浜の急勾配化とともに粗粒化が進むことが多い(宇多ら、1986)。海岸堆積物の鉱物組成も、漂砂源や漂砂の卓越方向などを推定する有効な指標となる<sup>1)</sup>。これらを受けて、ヘッドランド左右に付いた砂の粒度分析から、漂砂の卓越方向を推定した。

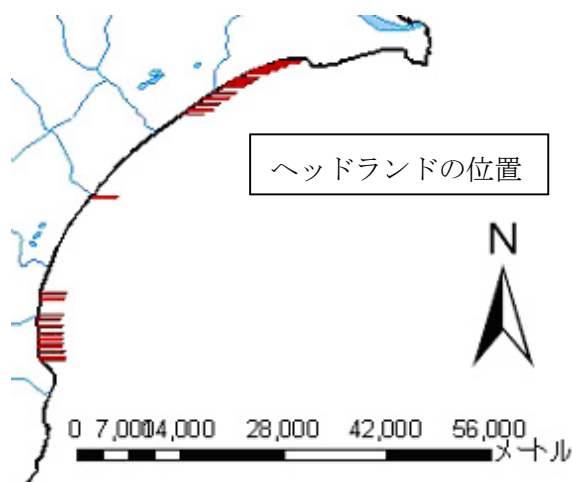


図-4.1 九十九里浜におけるヘッドランドの設置位置

#### 4.1.1 ヘッドランド左右の砂粒径から漂砂の卓越方向を推定する

##### 4.1.1.1 北九十九里浜のヘッドランド

北端の飯岡から 15km の区間に 12 基のヘッドランドがある。北側から 1 号機、2 号機と命名されている。以下、ヘッドランドを HL とし、n 号機を HLn とする。

HL の左側は HL の北側、右側は南側を示す。図の左にグラフ、図の右に写真を示す。グラフは横軸に粒径の大きさを表し単位は  $\mu\text{m}$ 、縦軸は度数%で表している。

1号機では、北側の粒径が細かく堆積傾向、南側の粒径はそれより粗く侵食傾向を示して、流れは南向きになることを示唆している。2つのグラフの粒度分布が、かなりはっきり分離しているから、北側より南側に強い漂砂の流れがある。

2号機のグラフも同様に読める。流れは南向きになり離岸堤3基の効果もあって集砂に成功しているのがわかる。ここは、椎名内海水浴場である。

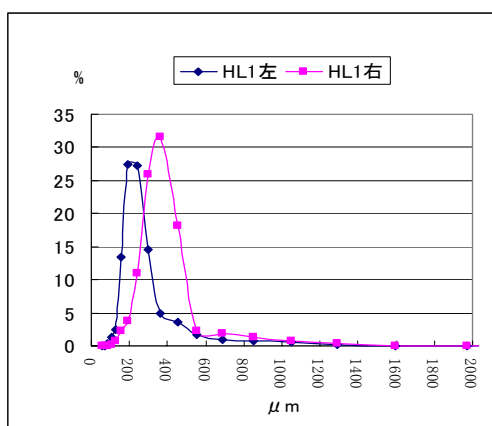


図 4.1.1.1.1 北九十九里 HL 1

写真 4.1.1.1.1 HL 1 の写真

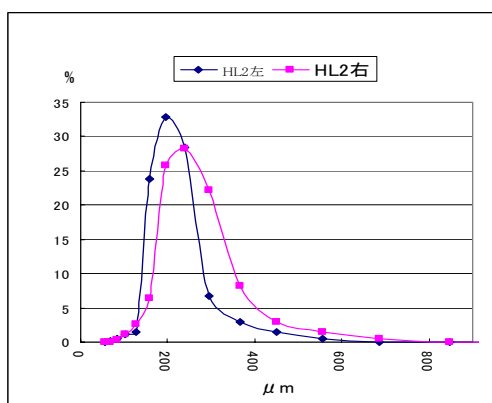


図 4.1.1.1.2 北九十九里 HL 2

写真 4.1.1.1.2 HL2(椎名内海水浴場)

3号機のグラフも同様で、ここの流れも南向きである。グラフの離れ具合が緩くなっていることは、流れが幾分弱まっているせいであろう。航空写真でみると漂砂がだんだん少なくなっているためか、あまり集砂効果が発揮できていない。設計図では、2号ヘッドランド先の北側に人口リーフが設置されている。写真では、かすかに見える。

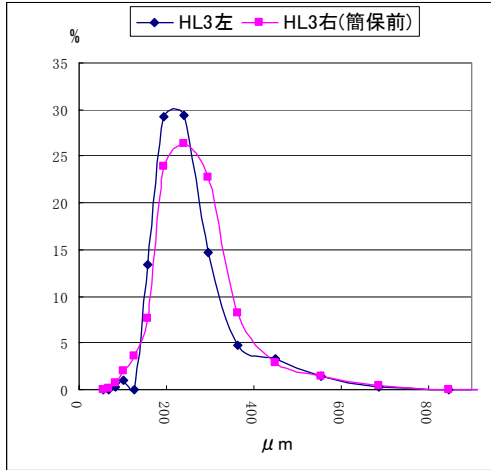


図 4.1.1.1.3 北九十九里 HL3



写真 4.1.1.1.3 HL 3号(南側から北を望む)

3号機と4号機の間、離岸堤が4基設置されているが、上手側で砂が阻止され、ここには、あまり砂が集まらない。簡保の宿(旭簡易保険保養センター九十九里温泉)の宿泊客のために砂浜を呼び戻そうと設置された離岸堤3基も流れて来る漂砂が少ないと効果が薄れることを示し、グラフからも北からの流れが弱いことを読み取れる。

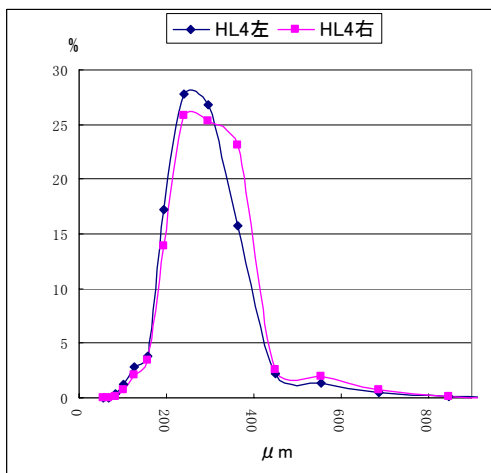


図 4.1.1.1.4 北九十九里 HL 4



写真 4.1.1.1.4 HL 4号(北側から南を望む)

5号機は左右対称なヘッドランドである。長さは200mで、北九十九里浜では一番美しいHLである。砂も左右対称で流れは平衡状態である。しかし、冬になると南側の砂浜が削られる。

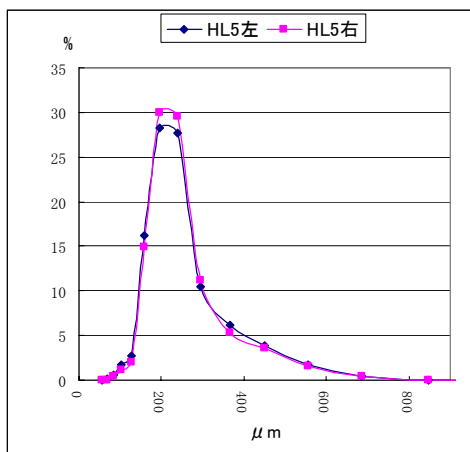


図 4.1.1.1.5 北九十九里 HL5



写真 4.1.1.1.5 HL5号(北側から南を望む)

6号機も同様に、左右対称の5号機と同じ規模であるが、このHLの両側には、細々と砂が付いている。漂砂の流れも平衡状態で、グラフもHLの砂度分布が左右同形である。養浜が必要な区域である。

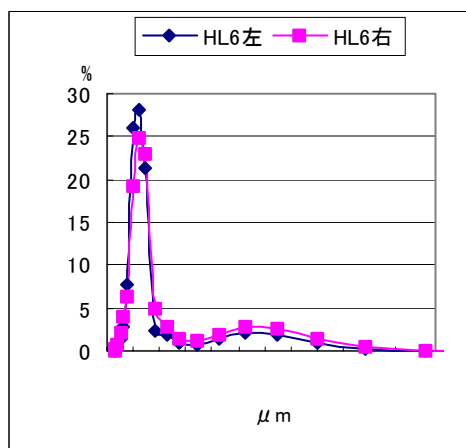


図 4.1.1.1.6 北九十九里 HL6

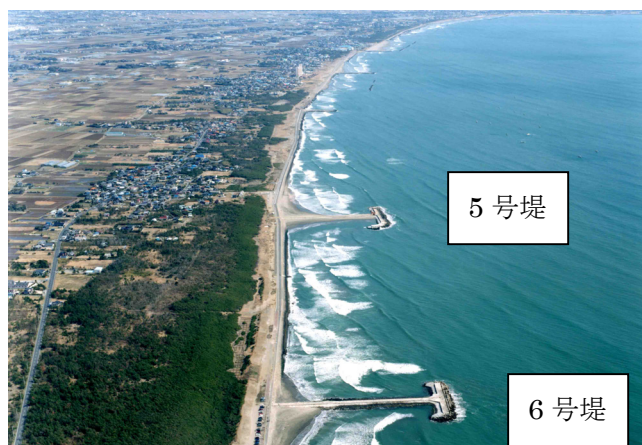


写真 4.1.1.1.6 HL6号(南側から北を望む)



7号機は、5号と6号で漂砂の流れが止まったかのように見えたが、グラフからは、また、北から南の流れが出てきている。6号機と7号機南側の粒径にもう一つの山が見えるのは、南側からの新川の影響と考えられる。

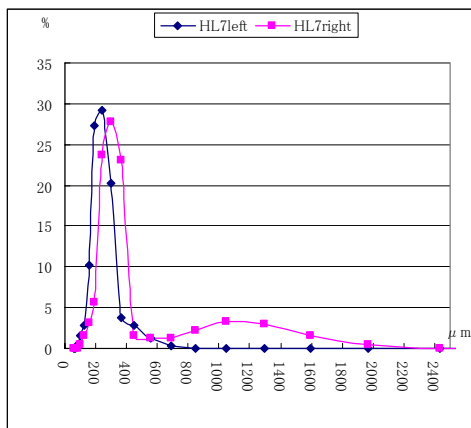


図 4.1.1.1.7 北九十九里 HL7



写真 4.1.1.1.7 HL7

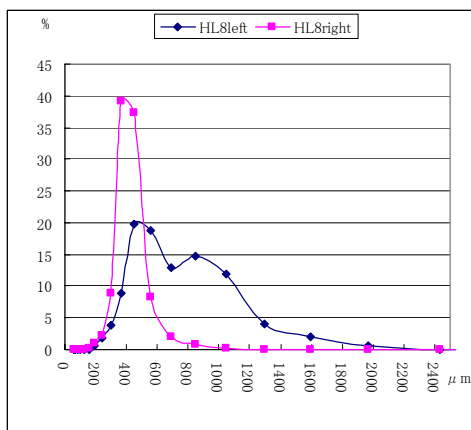


図 4.1.1.1.8 北九十九里 HL8

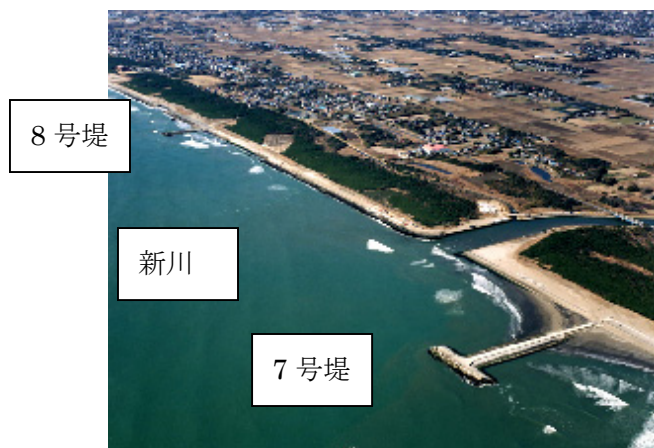


写真 4.1.1.1.8 HL8(北側から南側を望む)

8号機のグラフでは左右の粒度が逆転し、流れは南側から北側になることが読み取れる。また、8号機の北側にある新川が影響し、新川よりの砂の淘汰度に乱れが生じているのがわかる。

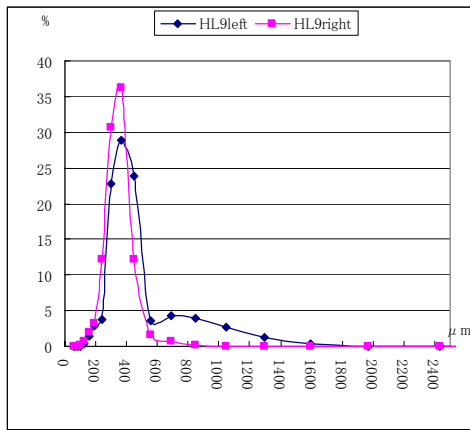


図 4.1.1.1.9 北九十九里 HL9

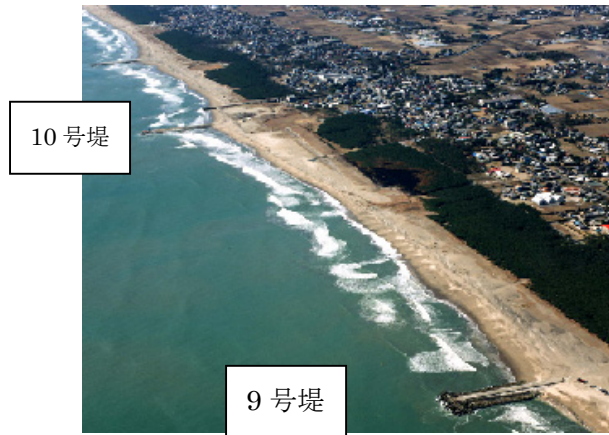


写真 4.1.1.1.9 HL9

9号機では、流れは南から北へ向かっているがきわめて弱い。9号機のグラフでは、北側の粗いところにもう一つの山がでているが、これは北側から流れてくる新川の影響と考えられる。

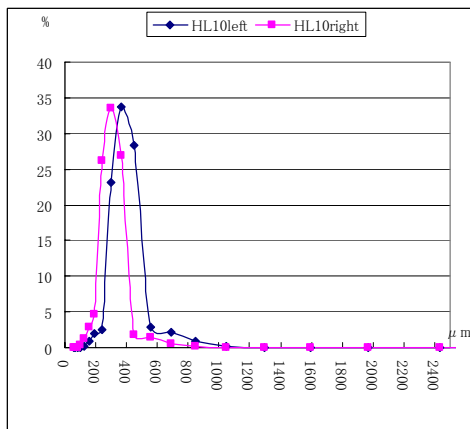


図 4.1.1.1.10 北九十九里 HL10



写真 4.1.1.1.10 野栄望洋荘前の浜崖

10号機のグラフでは、南側の粒径が細かく堆積傾向、北側が粗く侵食傾向を示し、南側から北側に流れていることが読み取れる。9号機よりも流れは強い。野栄望洋荘前であり、まだ、ここより南側には砂浜がのこっている。しかし、侵食がひどく、冬場に浜崖ができる。写真 4.1.1.1.10 の白い袋は、砂の入った大きな袋で浜崖対策用の土嚢である。

11号機は、10号機と全く反対の流れになり、北側から南側に流れる。12号機はまた流れが逆転し、南側から北側の流れに変わっている。野手地区は侵食が激しいと言われているが、同時に流れも複雑であることを示している。この地区は、直立護岸や緩傾斜護岸のされていないところである。

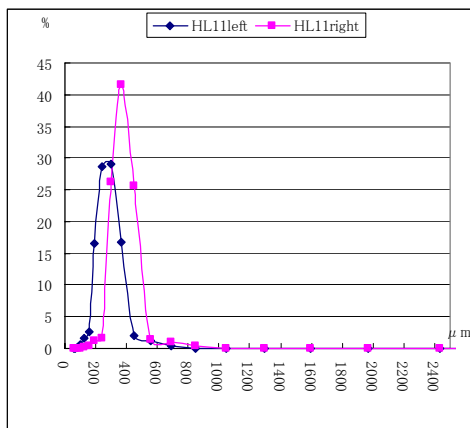


図 4.1.1.1.11 北九十九里 HL11



写真 4.1.1.1.11 HL11(北側から南側を望む)

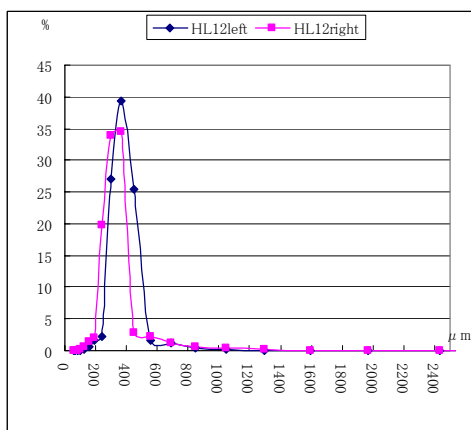


図 4.1.1.1.12 北九十九里 HL12



写真 4.1.1.1.12 HL12(現地)

以上、北九十九里浜のヘッドランド左右の粒度分布から、漂砂の卓越方向を次のように推定できる。



図 4.1.1.1.13 北九十九里浜、漂砂の卓越方向(千葉東沿岸海岸保全基本計画資料に加筆)

#### 4.1.1.2 南九十九里浜のヘッドランド

南九十九里浜は、一宮川北の一松地区にヘッドランドが3基、既に2基は着工されていて、突堤ができています。南の一宮地区6km区間は、10基のヘッドランドができていたり、または、工事中である。



図 4.1.1.2.1 一松地区～一宮地区までのヘッドランド計画。赤印は、工事中を示す。

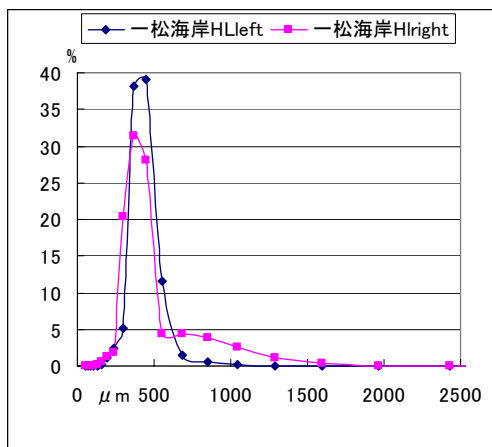


図 4.1.1.2.2 南九十九里一松海岸



写真 4.1.1.2.1 一松ヘッドランド

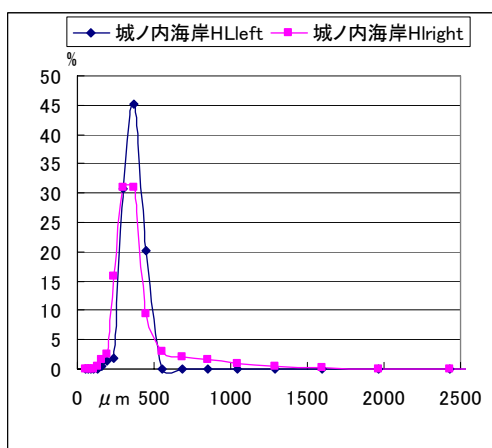


図 4.1.1.2.3 城の内海岸(一松地区)



写真 4.1.1.2.2 城の内海岸(一松地区)の HL

一松地区にあるヘッドランドの左右の粒度には変化がなく、漂砂の流れがない、と考えられる。比較的砂丘の残っているところであるが、近年、大きな浜崖が見られる。特に、より下の一宮川北側は浸食がひどく、護岸工事が急ピッチに進んでいる。



写真 4.1.1.2.3 川は一宮川。右は、ハマガケ防止のための工事風景。

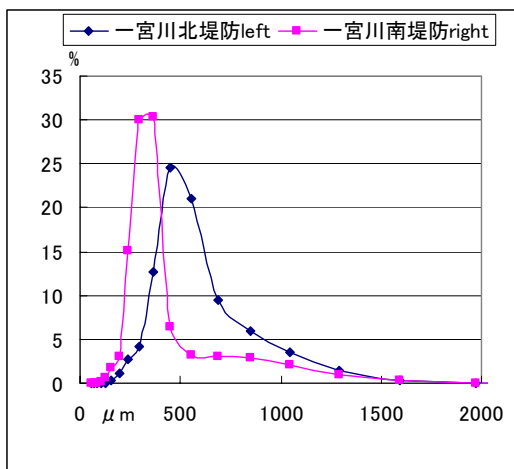


図 4.1.1.2.4 一宮北側堤防北側の粒度分布

一宮川北側堤防



写真 4.1.1.2.4 一宮川北堤防

一宮北堤防と南堤防では、北側が粗く侵食傾向、南堤防は砂粒が細かく堆積傾向、よって漂砂は、南から北に向かう強い流れである。

一宮地区の一号機は、一宮川の南から1号機、2号機と南に下る。

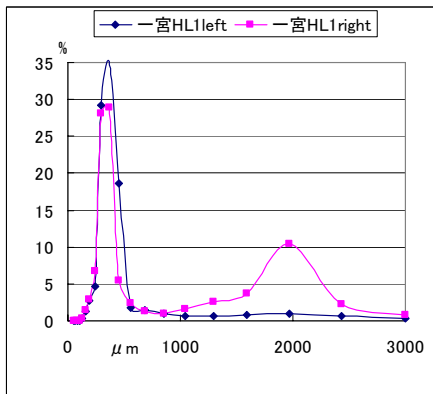


図 4.1.1.2.5 一宮 HL1 の粒度分布



写真 4.1.1.2.5 一宮 HL1

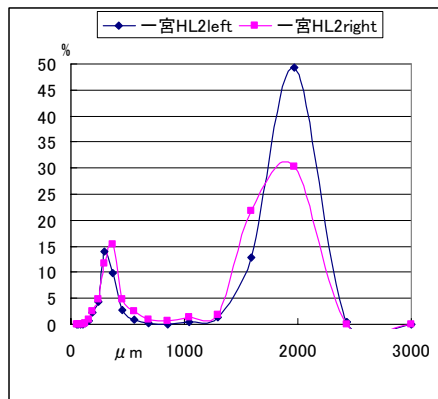


図 4.1.1.2.6 一宮 HL2 の粒度分布



写真 4.1.1.2.6 一宮 HL2

HL1 と HL2 の南側から北側の流れは変わらないが、すぐ北側を流れる一宮川の影響を受け 0.2mm くらいの砂が、HL2 では 2mm というかなり粗い砂にピークがある。かなり激しい漂砂の流れが推定できる。細かい  $2\mu\text{m}$  以下の砂は、砂鉄分と考えられる。

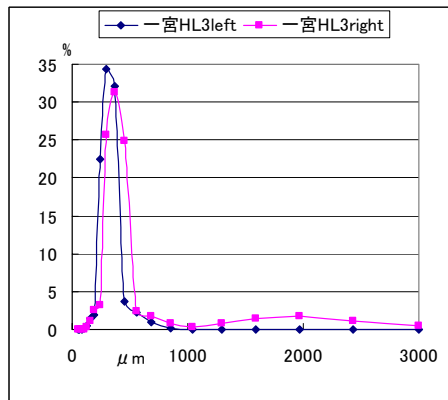


図 4.1.1.2.7 一宮 HL3 の粒度分布



写真 4.1.1.2.7 一宮 HL3

HL3 は、一宮海水浴場である。ここでは、わずかであるが、北側から南側にながれていることが読み取れる。HL3 の写真でも、北側のほうに砂が多い。

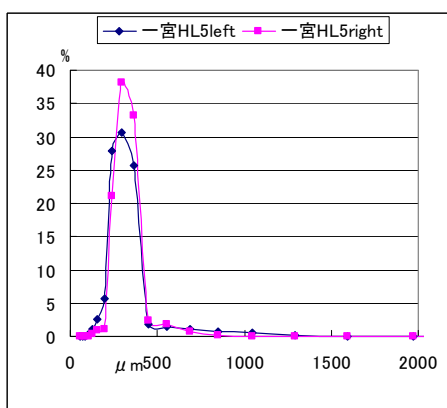
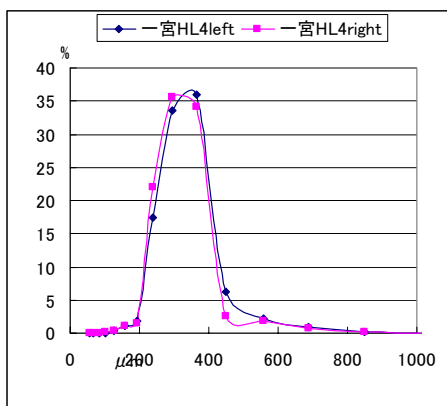


写真 4.1.1.2.8 一宮 HL を上から見る

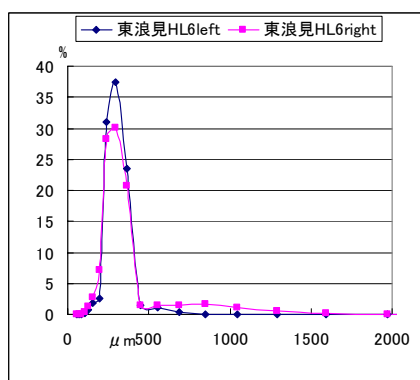


図 4.1.1.2.8 一宮 HL4 から HL6 までの粒度分布

HL4 から HL7 までの流れは、平衡状態にあるが、侵食地域で砂浜は、砂鉄で真っ黒である。

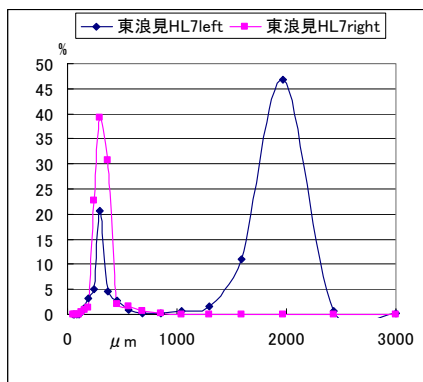


図 4.1.1.2.9 一宮 HL7 の粒度分布

写真 4.1.1.2.9 東浪見海水浴場の浜崖 4 mある。

ヘッドランド南側が粒度が小さく、北側に 2mm の粗い砂がある。南から北へすごい勢いで漂砂の流れがあることを読み取ることができる。浜崖の最も多い地区である。

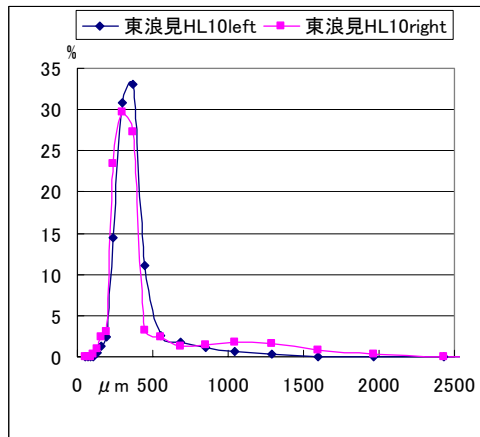
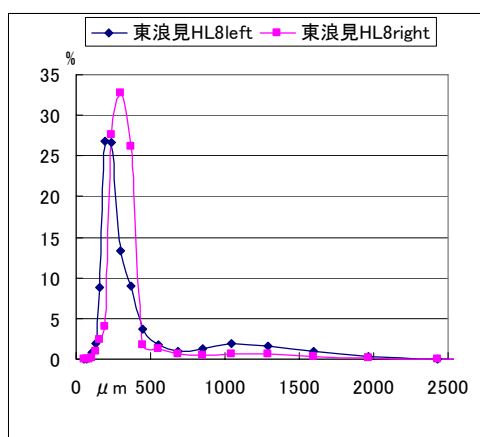


図 4.1.1.2.10 HL8 と HL9 の粒度分布

HL8 では北から南へわずかに流れ、HL10 ではかすかに南から北へと流れている。南側は、太東海水浴場であり砂浜となっている。砂鉄分の多さもここでは目立つ。太東港の浚渫土砂が養浜として使われているせいか、砂浜としては広く夏場は海水浴客で賑わう。

太東港の南側では、強い北向きの漂砂の卓越方向が読み取れる。分かりやすいように、写真に図解した(図 4.1.1.2.11)。



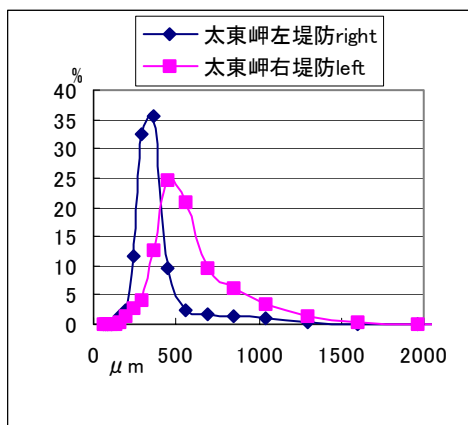


図 4.1.1.2.11 南側から強い北向きの流れを示す粒度分布と採砂地点○印、流れの方向(右)

以上、南九十九里浜の漂砂の卓越方向は、次のように推定できる。

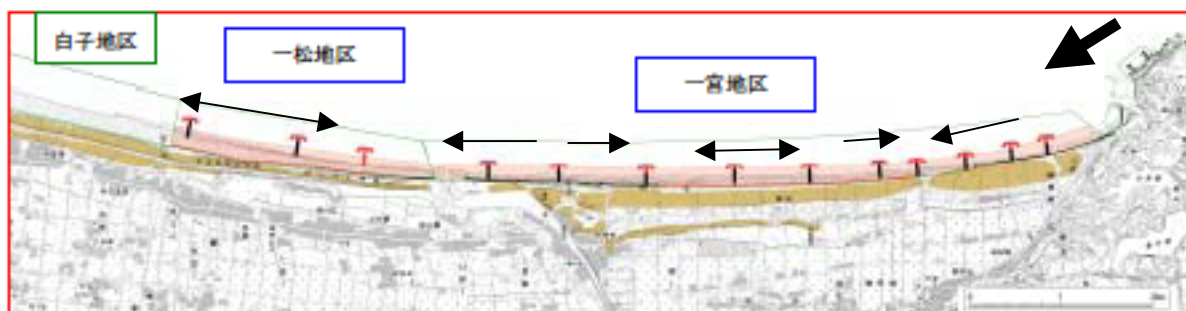
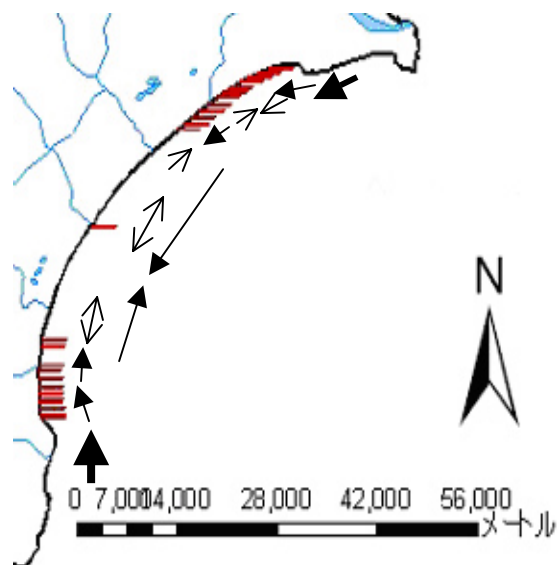


図 4.1.1.2.12 南九十九里浜、漂砂の卓越方向(千葉東沿岸海岸保全基本計画資料に加筆)

参考文献

- 1) 佐藤慎司(2001): 海岸堆積物の分析に基づく流砂系における土砂移動実体の推定、海岸工学委員会、p.38.

#### 4.1.1.3 考察



図－4.1.1.3.1 九十九里浜における漂砂の卓越方向

以上の分析結果をまとめると、漂砂の卓越方向は上図のようになる。ヘッドランド周辺の漂砂の卓越方向はかなり正確に再現できる。これは、人工物ヘッドランドまたは海に突き出た長大な堤防左右の堆砂を利用した観測方法である。

転じて、現在の九十九里浜の地形変化について考察すると、九十九里浜南北の海岸は護岸が進み汀線が固定されるという人工海岸に変化しつつある。



図－4.1.1.3.2 消波堤で護岸された屏風ヶ浦(2005年6月9日撮影)

まず、北方の屏風ヶ浦の海岸について考えると、ここは強力な西向きの漂砂の流れがあり屏風ヶ浦の凝灰岩を侵食して九十九里浜へと土砂を供給してきた。宇多(1996)は屏風ヶ浦の生産土砂量を1967年～1972年で $11.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ /年と見積もり、それが1982年～1989年で約 $4.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ /年まで約40%減少したとし、この量が1960年～1967年比較では1/3であるとしている。海食崖の土砂供給に依存して形成されてきた九十九里浜は、この不足した土砂量を補わない限り長期にわたる海岸侵食に見舞われることが予想される。

北端飯岡下永井海岸は、鎌倉時代にはかなり海側に位置し永井七浦と称される村が存在した。今は、海に没しこの村は移転した。侵食で激しい地形変化があった(p4. 図-2.1.2 参照)。飯岡漁港の完成とその堤防が屏風ヶ浦方面からきた沿岸漂砂を遮り漁港防波堤東側に前浜が形成され増えている。下手側の下永井海岸には13基の離岸堤が設置され、ここに漁港からの浚渫土が投棄されていることもあって砂浜は広がっている。宇多(1996)は、飯岡漁港の浚渫土砂量と離岸堤背後への堆積土砂量が約 $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ /年で、土砂収支がつりあっているとす。P23.の図-3.1.3のような地形に変化している。なぎさレフレッシュ事業の指定を受け、道路の南側海岸に防砂林を植えてある。親水性を保つため階段上護岸をしてある。沖の離岸堤へ砂が伸びている様子がわかる。トンボロが形成され緩やかな刃をした鋸状の砂浜が形成された。広がった砂浜の後背地に約150mにわたりハマヒルガオ群落などの海浜植物が復活した(p22. 図-3.1.2 参照)。

ここより下手側の北九十九里浜では、旭市椎名内海水浴場となっているヘッドランド2号機のところで東側での砂浜が広がっている(p42. 写真-4.1.1.1.1.2)。沖合に3基の離岸堤がある。ヘッドランドの効果と重なってその効果が表れている。しかし、これ以降西南のヘッドランドの堆砂効果は出ていない。漂砂が少ないのとヘッドランドの長さ不足と言える。ここでのヘッドランドの長さは300mを必要とするが、漁業権が設定されているため伸ばせずせいぜい200mまでしかできないと地域整備センターの担当者は言っていた。北九十九里浜ではヘッドランドの設置されている海岸線は直立護岸・緩傾斜護岸に変化した。

片貝港周辺の地形変化は、航空写真のように作田川河口にハの字型に堤防を伸ばした漁港である。この堤防で北側より漂砂が阻止され汀線は異常に伸びていて堆砂で悩む地区である。漂砂の流れは弱い南側へと流れている。そのため漁港北側と南側では、南側の方が砂の付き具合は少ない。南側は延長約330mの護岸が施され、新堤防と離岸堤2基が設置されている。写真のように堤防に沿って砂浜が広がり漁港から離れるに従い狭くなる。漁港を中心とするほぼ左右対称な砂浜の地形を形成している。



図－4.1.1.3.3 片貝港 (google earth より写真加工)

片貝を境に南が南九十九里浜である。南に下るにつれて砂浜幅がだんだん狭くなり、砂丘が波に洗われ 4m～5m ほどのハマガケの景観が現れる。一宮川北側の一松地区では、2基のヘッドランドが設置されていて、この付近では南から北に漂砂が流れている。ハマガケ対策の工事が急ピッチで進み砂浜海岸から直立護岸海岸へと変化しつつある (p49. の写真参照)。



図－4.1.1.3.5 太東港と一宮海岸 (2005年6月撮影)

写真は、九十九里浜南端に位置する太東漁港と北に伸びる一宮海岸の地形である。漂砂は防波堤で遮断され長く伸びているため北側で大きく湾入した汀線が形成されている。北九十九里浜よりヘッドランドが密集してその間隔は 400m～最大 950m で 10 基が設置されている。南側から漂砂がやってきて、ヘッドランド南側に砂がついている。勾配が北九十九里浜の  $1/100$  より急で、 $1/60$  であるため沿岸流が強く、軽い石英質の砂は沖へ流され、比重の大きい砂鉄分の多い海岸になっている。沿岸流が強いことは、サーファーで賑わうことでもわかる。

この海岸は直立護岸とヘッドランドで守られる地形に変わった。北九十九里浜北端と様相が似ている。

#### 4.1.2 1970年のdataと砂の粒度比較

2004年～2006年正月にかけて、休日に毎月2～3回ほど現地に趣き、海浜空間の実態把握とGPSで位置を確認しながら採砂をした。そのうち、2km前後離れた代表的な26地点を選び、北から1から26の地点番号を付した。位置情報を処理するにあたっては、ArcGISを使用している。

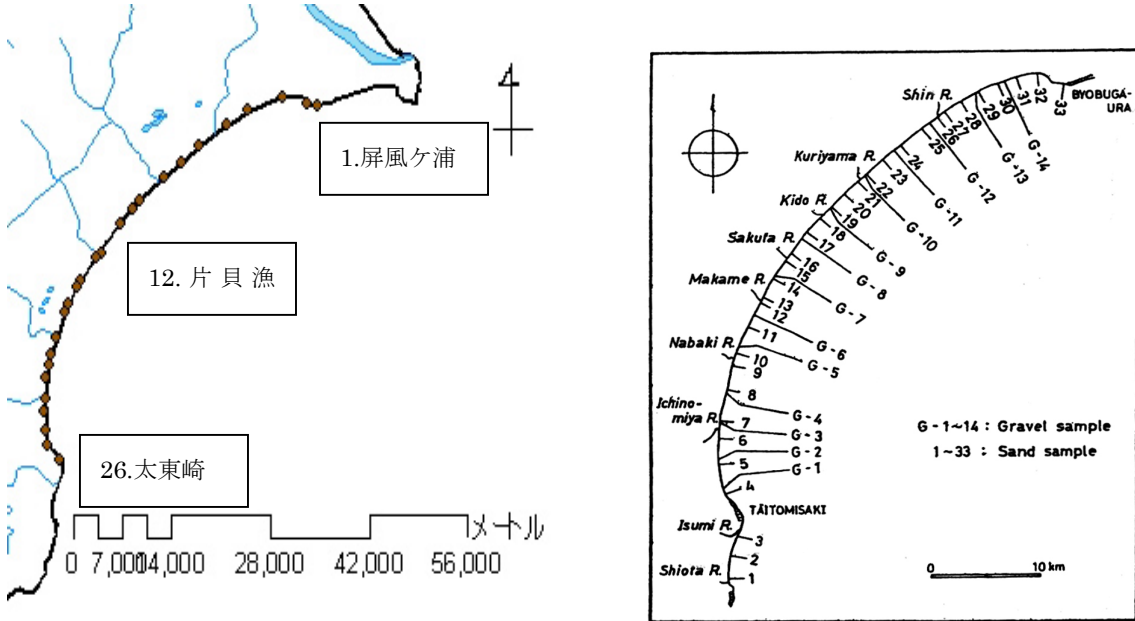


図 4.1.2.1 九十九里浜の採砂地点(平塚、2005) 図 4.1.2.2 堀川・砂村(1970)の調査地点

堀川・砂村(1970)は、図 4.1.2.2 のような調査地点で砂を収集し、下図のようなグラフを作成して、九十九里浜の漂砂の卓越方法を推定した。ここで、 $m_\phi$ は、次式で表される。

$$m_\phi = \frac{1}{100} \sum f x_\phi \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $m_\phi$ は $\phi$ スケールで表された平均粒径、 $x_\phi$ は $\phi$ スケールの各粒径グループの中点およびfは度数百分率である。 $\sigma_\phi$ は、次式で表される標準偏差である。

$$\sigma_\phi = \sqrt{\sum f (x_\phi - m_\phi)^2 / 100} \dots\dots\dots(2)$$

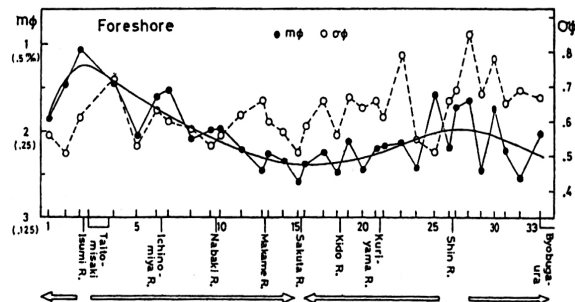


図 4.1.2.3 海浜砂の平均値および分級度の変化<sup>1)</sup>

この表は、屏風ヶ浦と太東崎が反対方向になっているので、左側を屏風ヶ浦にして、読み替えてから、平塚のデータと比較したものが、次のグラフである。

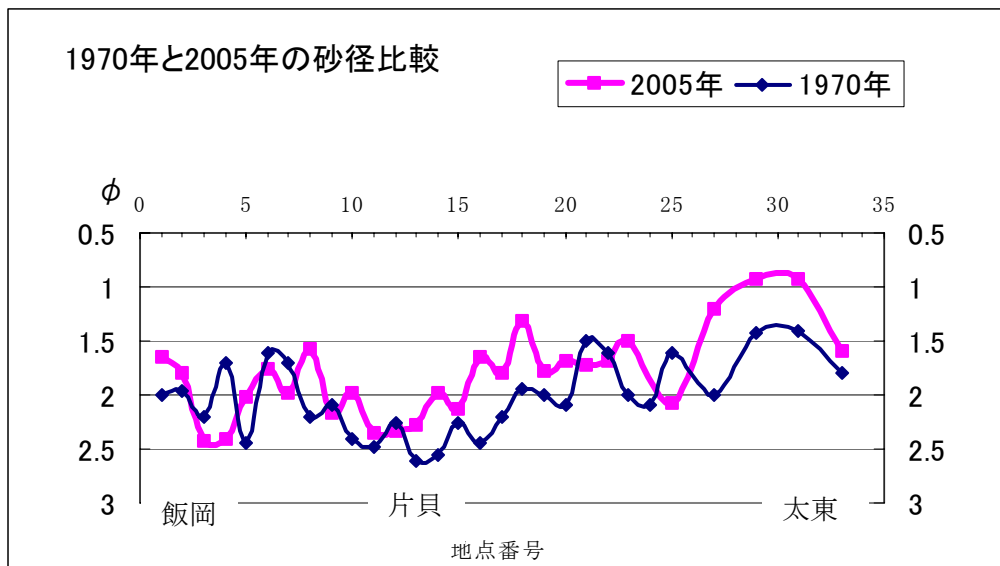


図 4.1.2.4 砂径の経年変化(1970年→2005年)

砂径の経年変化で考えると、傾向は変わっていないが、全体的にφ値が小さい傾向(粒径が大)にある。侵食が全体的に広がったことを示唆している。一方、砂浜の回復した飯岡と堆積傾向にある片貝では、φ値が大きく、砂径が小さくなったことを示している。

参考文献

- 1) 堀川清司・砂村継夫 (1970) : 千葉県九十九里海岸における漂砂の卓越方向に関する研究、第 18 回海岸工学講演会論文集、pp.417-421.

## 4.2 比重測定

各種の比較は、侵食・堆積傾向にある砂には、粒径の大小と相関関係にある。そのため、汀線変化量との比較は非常に重要である。まず、ベースになる汀線変化量の基準を定める。

### 4.2.1 基準汀線変化量

星上ら(2005)の汀線データ<sup>1)</sup>から読み取った汀線変化量が、下記グラフである。九十九里浜北端が飯岡で地点番号は1、中央は片貝漁港で12、九十九里浜南端が太東漁港26である。汀線は、1948年を基準に2002年までの汀線変化量である。人工物で砂を獲得したのが飯岡で、自然の堆積で砂浜が広がったところが片貝である、のが九十九里浜の特徴、他の地区は侵食に見舞われている。以下、この汀線変化量をもとに、比較検討する。

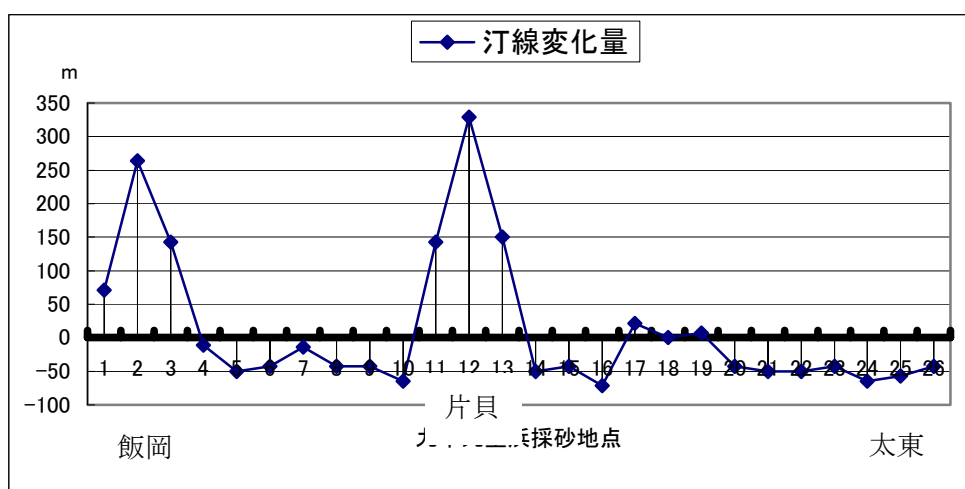


図 4.2.1 基準汀線変化量(1948→2002)。

### 参考文献

- 1) 星上幸良・小林昭男・宇多高明・熊田貴之(2005)：近世における九十九里浜の形成と変形、沿岸域学会志、第17巻第3号、pp47-56.



#### 4.2.2 汀線変化量と比重の関係

汀線変化量の単位はm、第2軸の比重単位は  $g/cm^3$  である。侵食傾向の海岸には比重の重いものを取り残され、堆積傾向の海岸は比重が軽いと一般的に言われているが、このグラフからは九十九里浜南北で上下に変動し、当てはまるのは九十九里浜中央部分の片貝と南九十九里浜でしかない。しかし、激しい漂砂運動は九十九里浜両端であることを表していると考えられる。

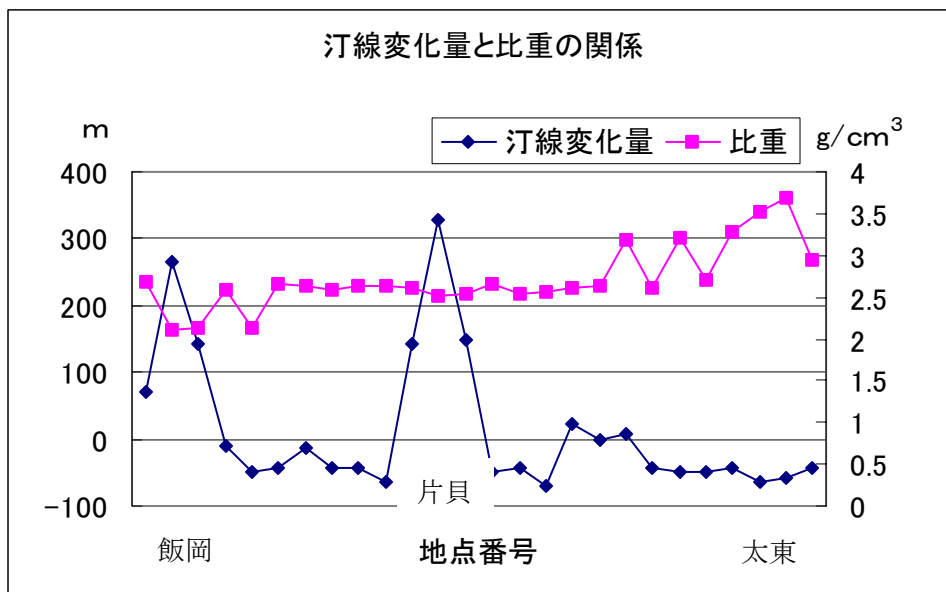


図 4.2.2 汀線変化量と比重の関係

#### 4.2.3 石英と他の鉱物等の関係

石英(Quartz)は、二酸化ケイ素( $SiO_2$ )が結晶してできた鉱物で比重は2.65である。結晶しやすく六角柱状のきれいな自形結晶をなすことが多い。結晶度が高い石英が水晶である。石英は主要な造岩鉱物であり花崗岩などの火成岩に多く含まれる。石英は地殻を構成する非常に一般的な鉱物で全世界どこにでもある。砂は岩石が風化することにより生じるが石英は風化に強く、砂は石英が主体となる事が多い。一般的に砂丘・砂浜・砂漠の砂は石英が主成分である。

比重から石英の比重を引き、0の値のx軸に並べると、その砂浜は石英分が多いことがわかる。重鉱物(砂鉄の比重4.8)があると値が大きく出るので、次の比較グラフは有用である。なお、-の値は石英より軽い軽鉱物か貝殻や微化石と考えられる。

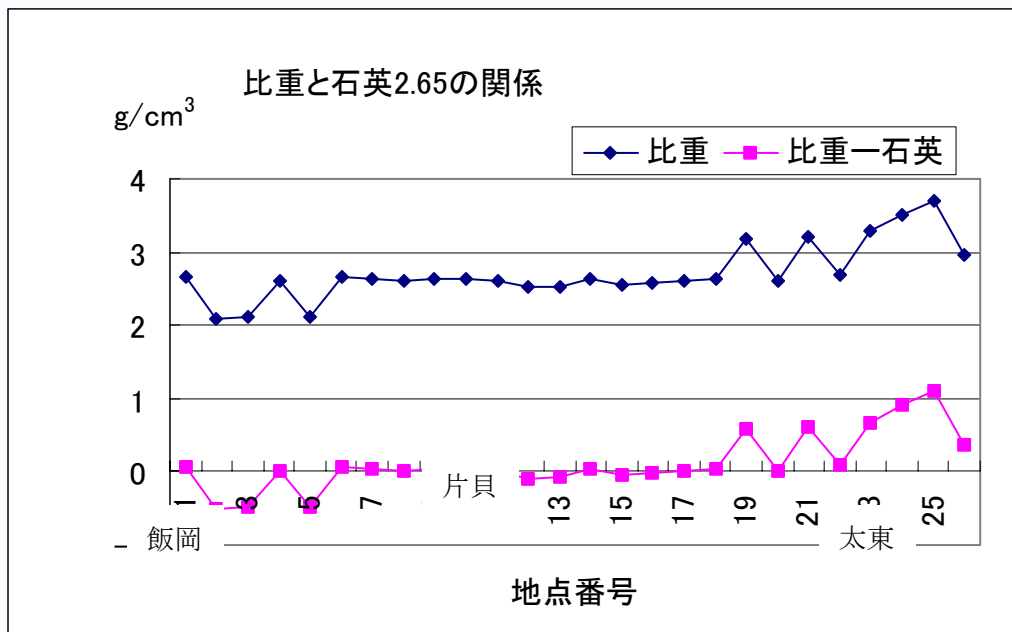


図 4.2.3.1 海砂の比重と石英の関係

護岸と離岸堤で集砂に成功した九十九北端の飯岡はかなり比重が軽く、顕微鏡で見ると貝殻片や有孔虫らしい軽い物質が打ち寄せられている。この傾向は自然堆積する九十九里中央部の片貝港でも見られる。野手海岸から南九十九里浜の北側は石英物質が多く良質の海水浴場に恵まれる。しかし、地点 19 より南側は侵食が激しく砂鉄分が多いため真っ黒な浜辺である。ここは、粒径は細かいが比重の大きい砂鉄分が取り残された結果である。

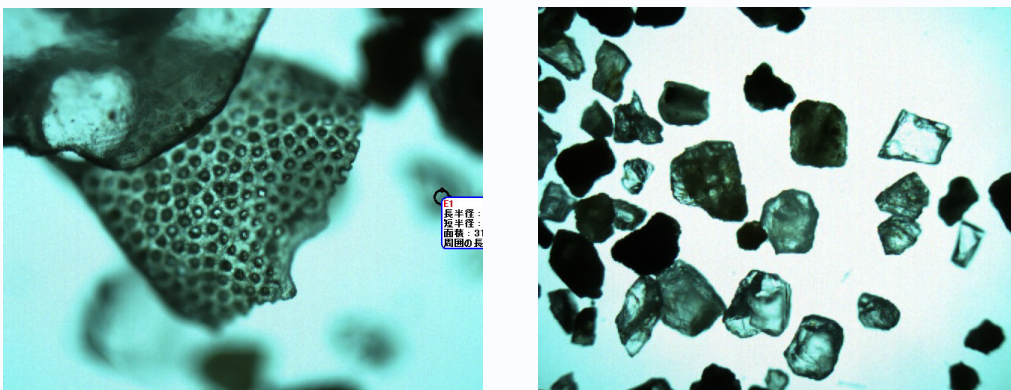


図 4.2.3.2 左:三川海岸では有孔虫 (x 100)、右:石英の多い片貝海水浴場の砂 (x 40)

#### 4.3 砂鉄含有量測定

北九十九里浜北端は 1960 年頃、砂鉄の産地として有名であった(p39-40 参照)。その名残もあり、砂鉄分は多いのであるが、30%に満たない。護岸が完成し砂鉄層からの流出がないためと考えられる。それと対照的に九十九里南端の一宮・東浪見海岸では、すでに述べたように砂丘下のハマガケの砂鉄層から直接流出していた。この地区に砂鉄分の多いことは言われているが、砂鉄層からの流出という指摘は、既往のどの論文にも無いので、新発見ということになる。

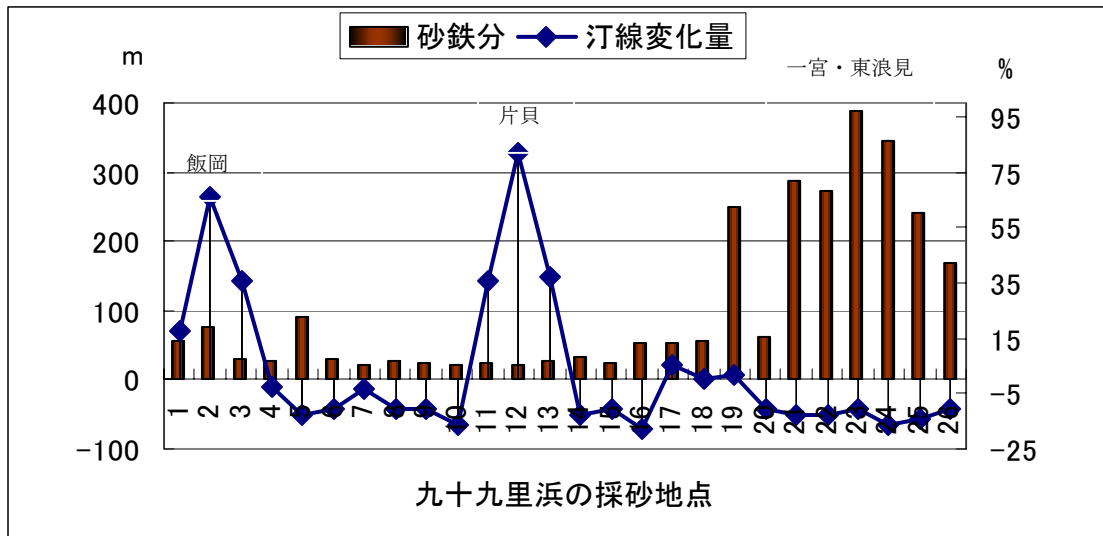


図 4.3.1 砂鉄分と汀線変化量(1948 年基準 2002 年の変化量)

次に、人工物ができる前の 1970 年ころの九十九里浜における砂鉄分布と現在を比較し、考察をする。

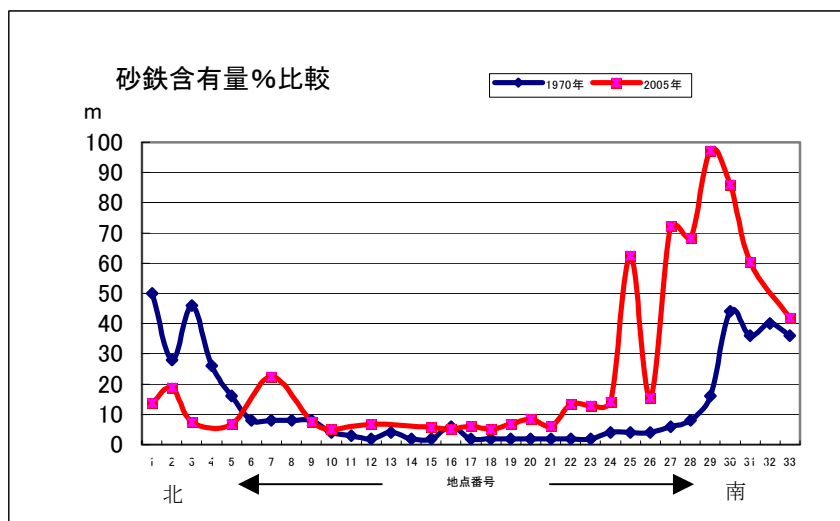


図 4.3.2 1970 年と 2005 年の砂鉄分布比較

1970年のデータは、参考文献 1)から読み取ったものである。2005年データは平塚のデータである。

まず、堀川・砂村(1970)のデータは左右対称であり九十九里浜の南北で砂鉄分が多いことを示している。九十九里浜の形と同じお碗のような砂鉄分布であった。しかし、人工物が完成し、九十九里浜北端では砂鉄分が抑えられて砂鉄分の減少とともに砂浜が広がった。九十九里浜南端ではハマガケがあり、削られた砂丘の中の砂鉄層から砂鉄分が直接流出して異常な砂鉄分布(80%以上)を示している。2005年の平塚データを地図上に表現したものが、次の図であり九十九里浜南の海岸が真っ黒になる理由がわかる。

野志・宇多ら(2005)は、砂鉄分の多さが環境異変を起こすのではないかと次のように指摘している<sup>2)</sup>。

「砂鉄は比熱が大きいことから夏季に地表面温度が異常に高まり、海浜利用やアカウミガメなどの産卵に悪影響を及ぼすと考えられる。」そうであれば、養浜用の砂も砂鉄分を薄めるようなものを選ばなければならない。白色になるべく多い良質の山砂など考慮すべきであろう。図 2.3.3 の右写真では黒いのが砂鉄、透明なものが石英類である。

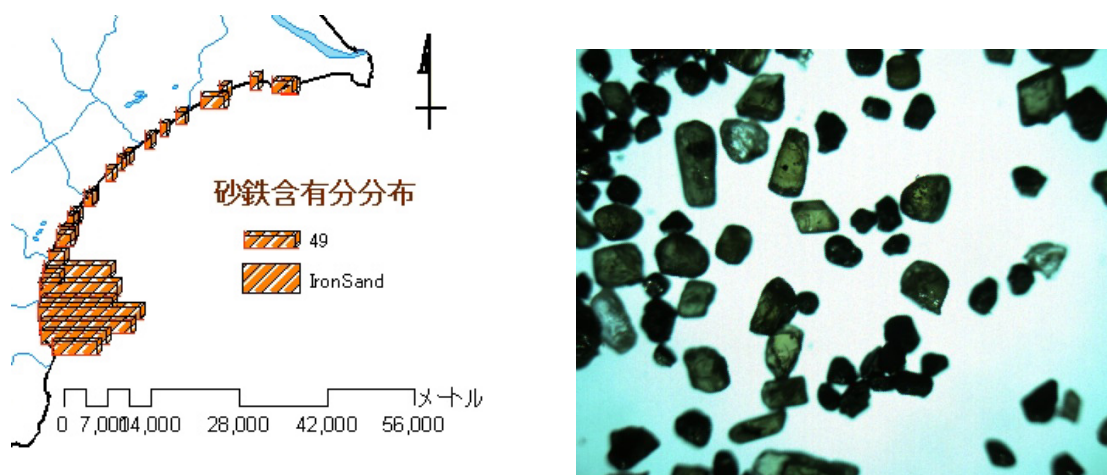


図 4.3.3 九十九里浜南部に偏った砂鉄分布(2005)。 右：砂鉄分の多い砂(x 40)

砂鉄と密度、砂鉄と比重の関係には、強い相関関係がある。

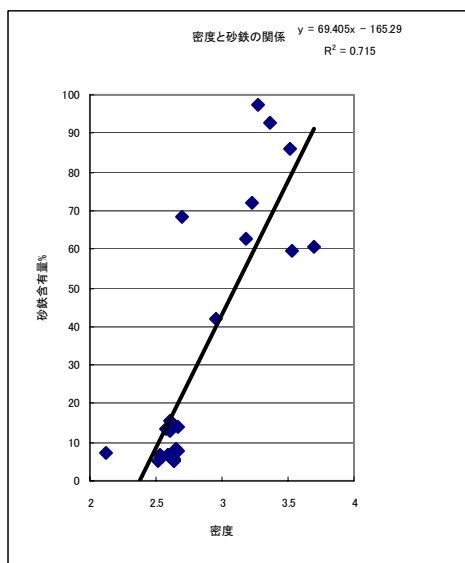


図 4.3.4 砂鉄と密度の関係

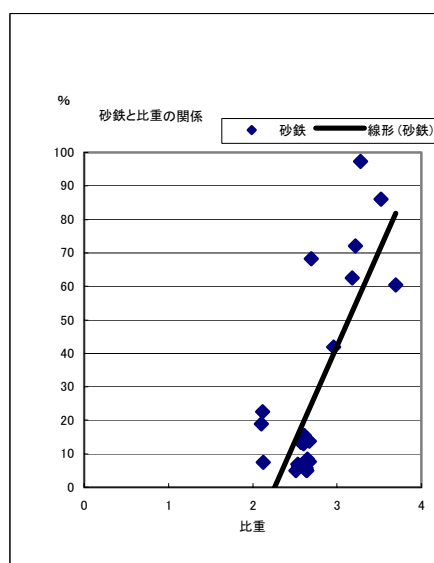


図 4.3.5 砂鉄と比重の関係

参考文献

- 2) 堀川清司・砂村継夫 (1970) : 千葉県九十九里海岸における漂砂の卓越方向に関する研究、第 18 回海岸工学講演会論文集、pp.417-421.
- 3) 野志保仁・小林昭男・宇多高明・北賢治・芹沢真澄・熊田貴之(2005) : マクロ的視点から見た砂鉄分布特性と広域漂砂特性、第 52 回海岸工学講演会論文集、pp.611-615.

#### 4.4 含水比

含水比からみると、侵食域のところほど密度が高いせいかな含水比は低い。反対に堆積傾向の海岸は、含水率が高い。地点 3 からは、粘土質の軽いものと貝殻や微化石が含まれている、この砂は、乾燥後の水分の吸収は大きく、まるでスポンジのような吸水力を持つ。侵食域では、軽い砂や物質は沖へ流されて消失するものと考えられる。

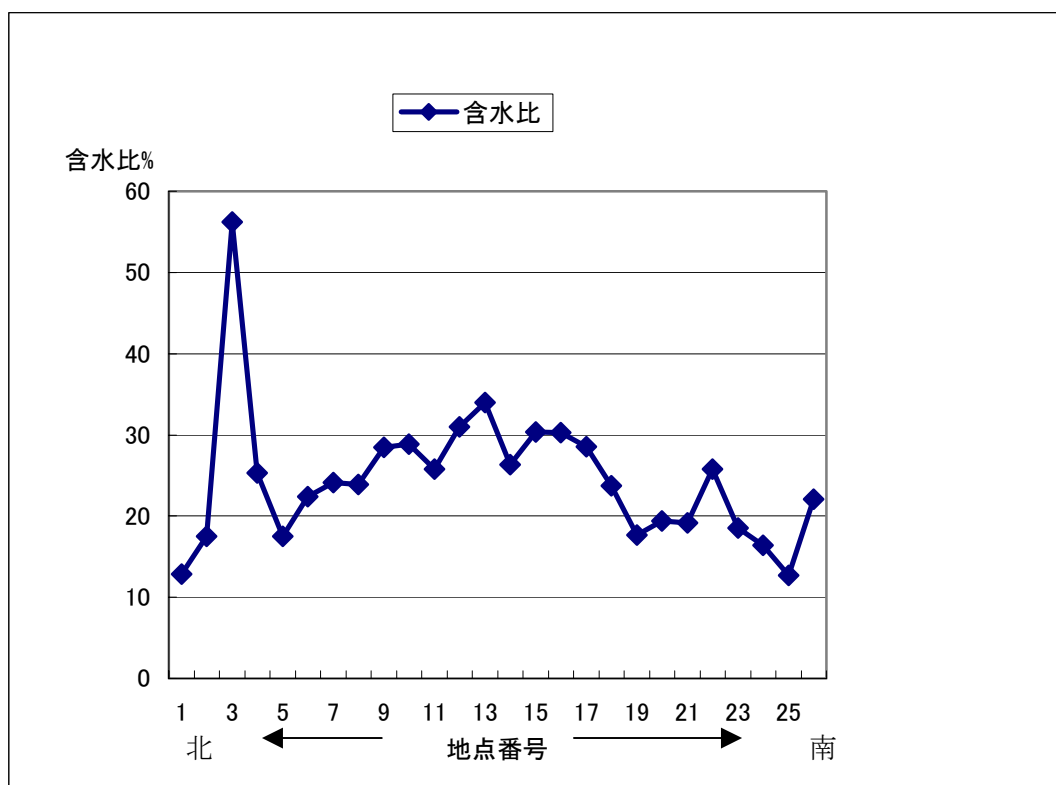


図 4.4 含水比(単位は%)

#### 4.5 円磨度・球形度

円磨度は、Krunbein(1941)の円磨度印象図を見ながら、また球形度は Rittenhouse(1943)の球形度印象図を参照しながら判定した。両者とも 1 に近いほど、つるつるさが増し、あるいは丸くなる。簡便な方法として印象図を利用する。資料間の適正をはかるため特定の鉱物を決めて行うが、一般には砂や砂岩に多く含まれる石英粒子が用いられる。本研究も同様な手法で判定した。その結果を次に示す。

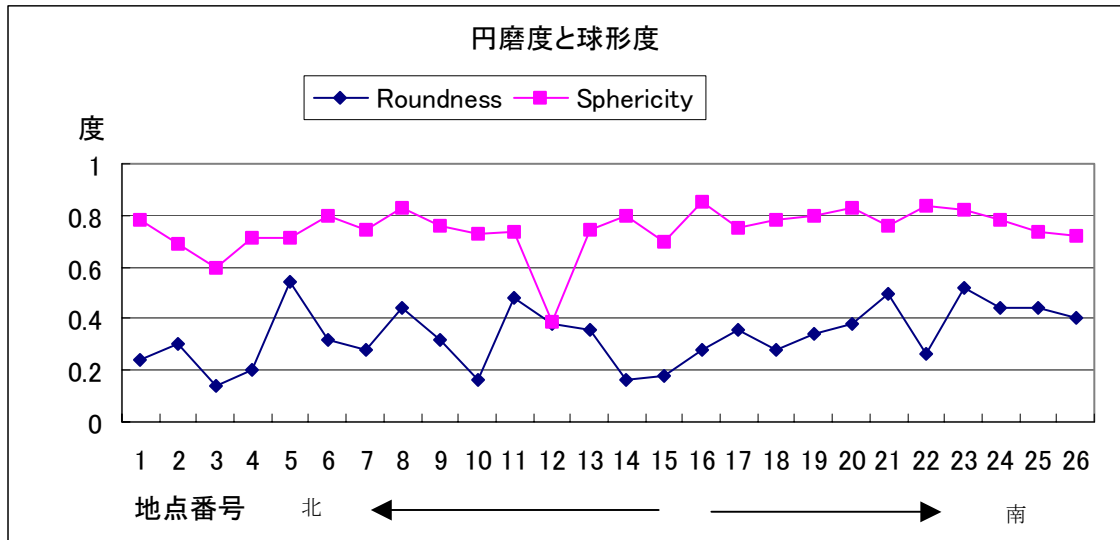


図 4.5.1 円磨度(Roundness)と球形度(Sphericity)

河口近くの海岸の砂、地点番号 3 は、非常に軽い砂があるところで円磨度、球形度ともに低い。堆積傾向にある片貝は比重が軽いので球形度は低い。これは小さい粒子の方が丸くならない、また軽すぎて磨かれないことを示す。小惑星が丸くないのと同じである。粒子の大きい方が円磨されやすい、また球形になりやすいと言える。したがって、侵食傾向にある海岸ほど円磨度・球形度が高いと推定できる。

実際の顕微鏡写真を下に示す。上 2 枚が堆積傾向の砂粒、下 1 枚が侵食傾向にある砂鉄分の多い砂である。

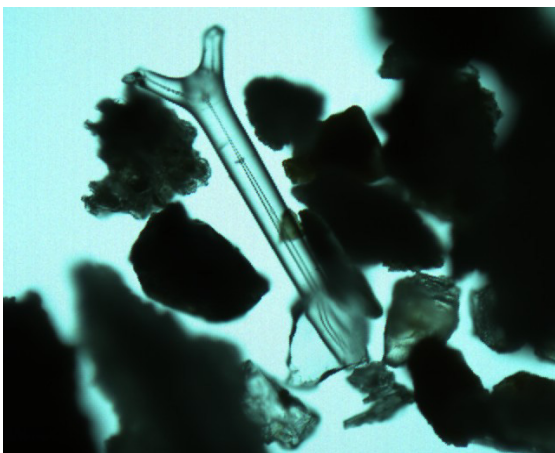


図 4.5.2 地点番号 3 (x 100)の生物遺骸

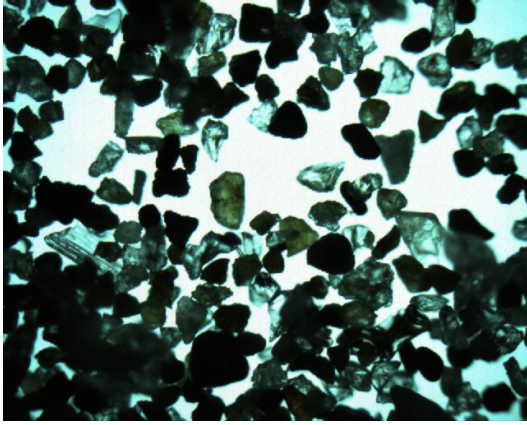


図 4.5.3 地点番号 12 (x40) 片貝港内の砂

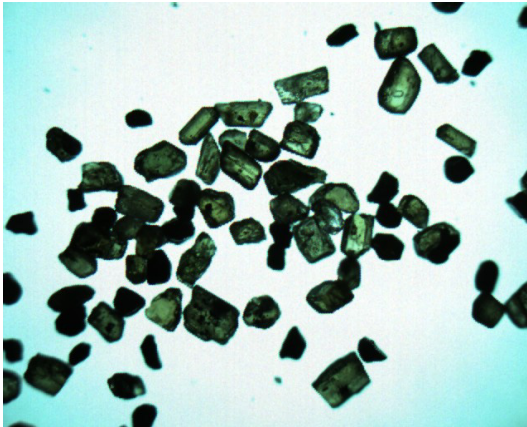


図 4.5.4 地点番号 24(x 40)東浪見海岸の砂粒、黒いのが砂鉄



#### 4.6 汀線の経年変化

九十九里浜海岸における人工物がまだできていない 1970 年と人工物ができた後の 2002 年の汀線観測結果を使って汀線変化を推定し、人工物の影響がどれだけあったのかを考察する。合わせて、明治以来の汀線変化も考察する。これらのデータは、文献 1 などより読み取った。まず、人工物ができなかった前の 1948 年を基準に、2002 年までの汀線変化量を示す。ここでは九十九里北端の飯岡と、中央にある片貝の堆積以外は、ほぼ侵食傾向にある。

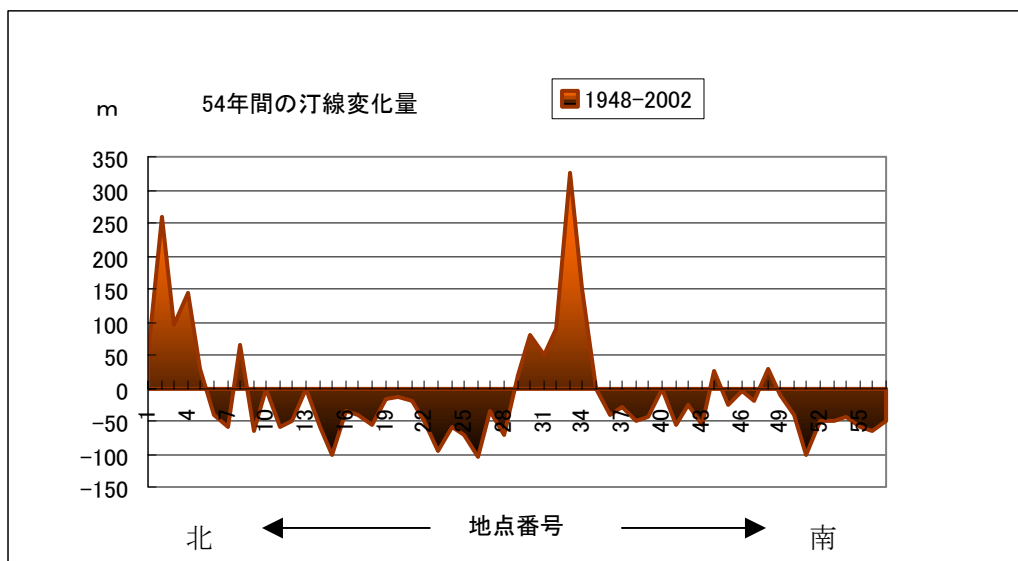


図 4.6.1 54 年間の汀線変化量(1948-2002)

次に、人工物ができる前の汀線変化量と護岸・ヘッドランド・離岸堤ができた後の汀線変化量を比較検討してみる。

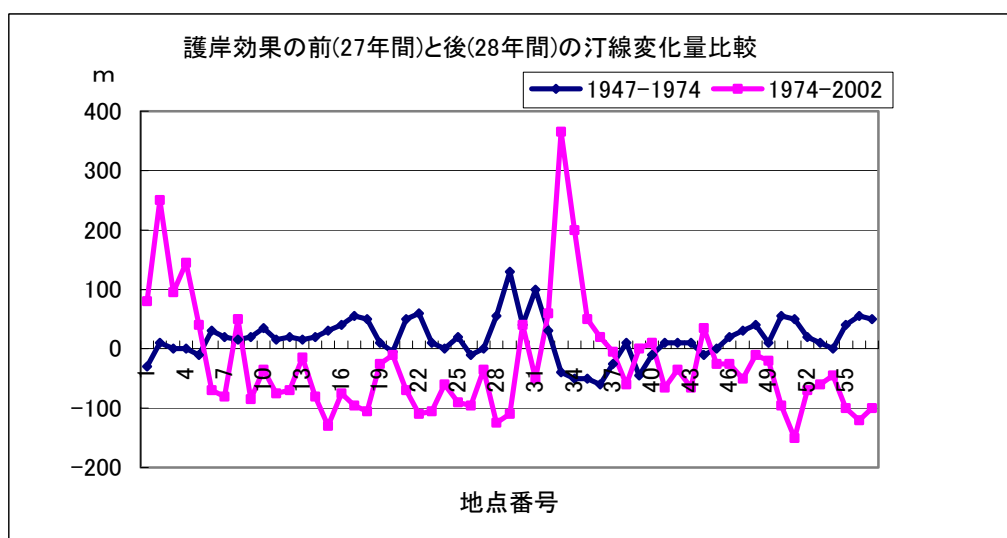


図 4.6.2 人工物ができる前 27 年間(1947-1974)、設置後 28 年間(1974-2002)の汀線変化量

九十九里浜北端では、人工物によって侵食から堆積に転じていることがわかり、また、中央の片貝漁港堤防の完成とともに漂砂がくい止められ、侵食から堆積に転じている片貝では砂幅の伸びが著しい。しかし、その影響を強く受けて北から片貝までの堆積傾向の砂浜は侵食に転じてしまっている。南端の九十九里浜も堆積から侵食に転じた。これは北端屏風ヶ浦侵食崖と南端太東崎侵食崖の護岸の完成で砂の供給が無くなったことに大きな原因である。

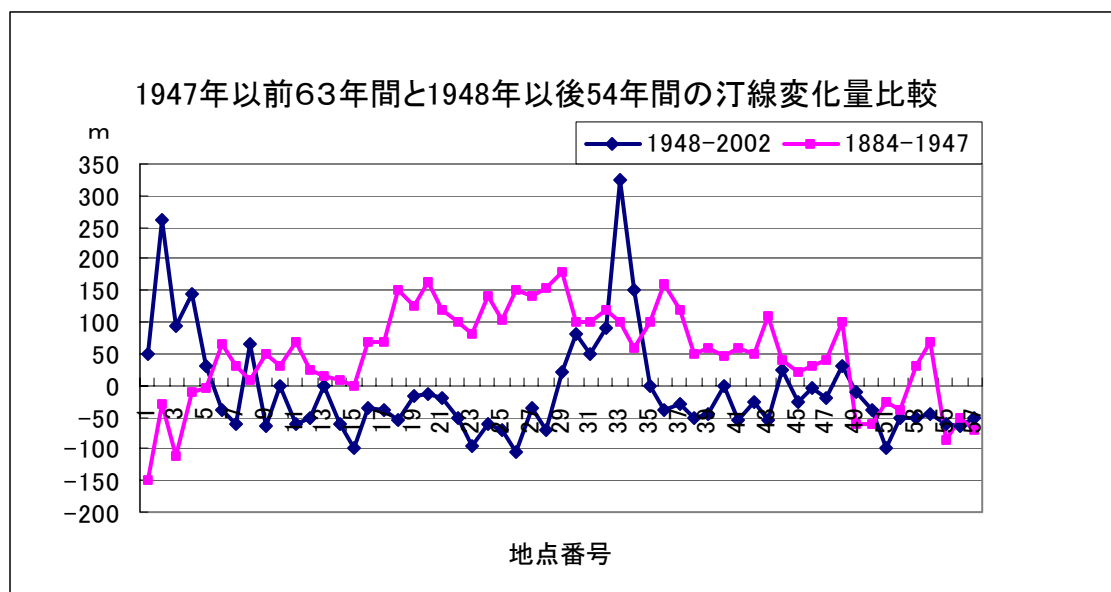


図 4.6.3 戦前と戦後の汀線変化量

図 4.6.3 は、戦前 63 年間と戦後 54 年間の汀線変化量とみることができる。第 2 次世界大戦は 1945 年に終結した。1947 年と言えば敗戦したわが国にとっては、焦土と化した日本の再建時期であり、ほぼ工事は止まっていたから、大雑把にみれば、このグラフを戦前、戦後と分けても不都合とは、言えないだろう。

戦前は両端を除き、ほとんど侵食は問題にならなかった。北端の飯岡のみ激しい侵食があったが、その他の地点では平均約 100m も砂幅が伸びたと言える。幼少の頃に見た砂浜は、広々と広がる砂浜であった。しかし、戦後から今日に至っては、1948 年を基準にすると北端と中央部分が 250m 以上も砂が伸びた(4.6m/年)、まさに驚異的な砂幅の広がりである。しかし、多くの地点で砂浜の後退がはじまった。これも年平均 4.5m/年の速さで後退した。砂浜は、1ヶ所いじると、際限なく平衡状態を模索してゆくことになる。一部にとられて工事をすると、とんでもない仕返しとなってやってくることを示唆している。全体計画が、どうしても必要となる所以である。

次に、1948 年を基準とする明治 7 年から 2002 年までの汀線変化量をみてみよう。図によれば、意外にも侵食箇所は少なく、今日まで砂幅が広がってきたことになる。これは、堆積した砂浜に松を植えて、その後背地を田畑として海へと人間がせり出してきた結果と

言えよう。砂幅を確保するために、限界に来た砂浜からの撤退が必要であることを示唆している。

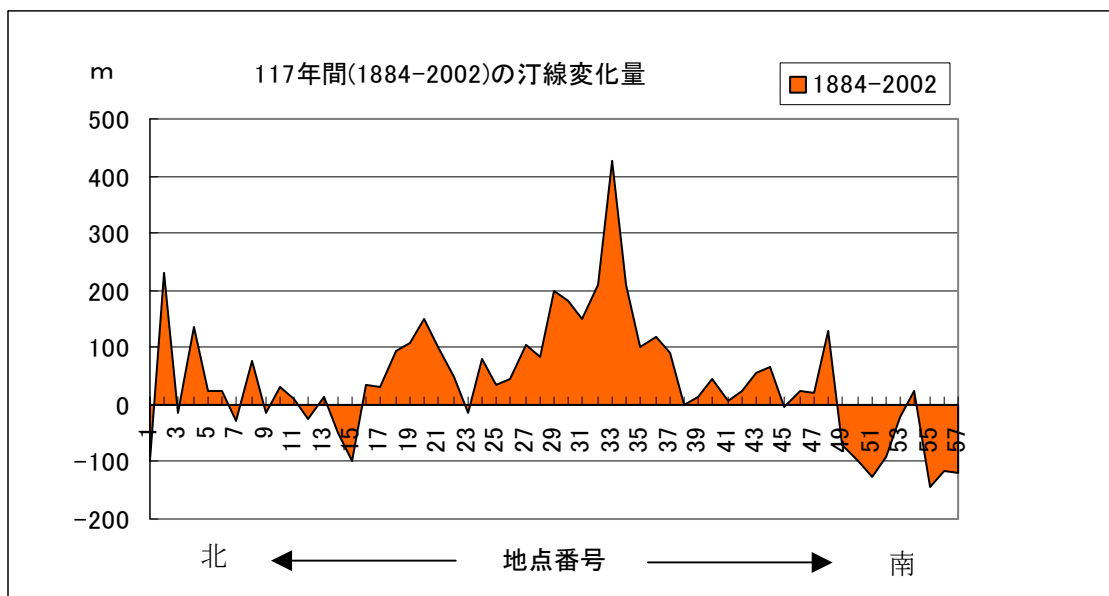


図 4.6.4 明治 7 年から 117 年間の汀線変化量(基準は、1948 年)

#### 4.7 砂幅の変化量

ここは、砂幅の変化について、過去のデータから考察したい。出典データは文献 1 から読みとったもの。図 4.7.1 から軒並み砂幅が狭くなっているのがわかる。その差をとってグラフ化したものが、図 4.7.2 である。

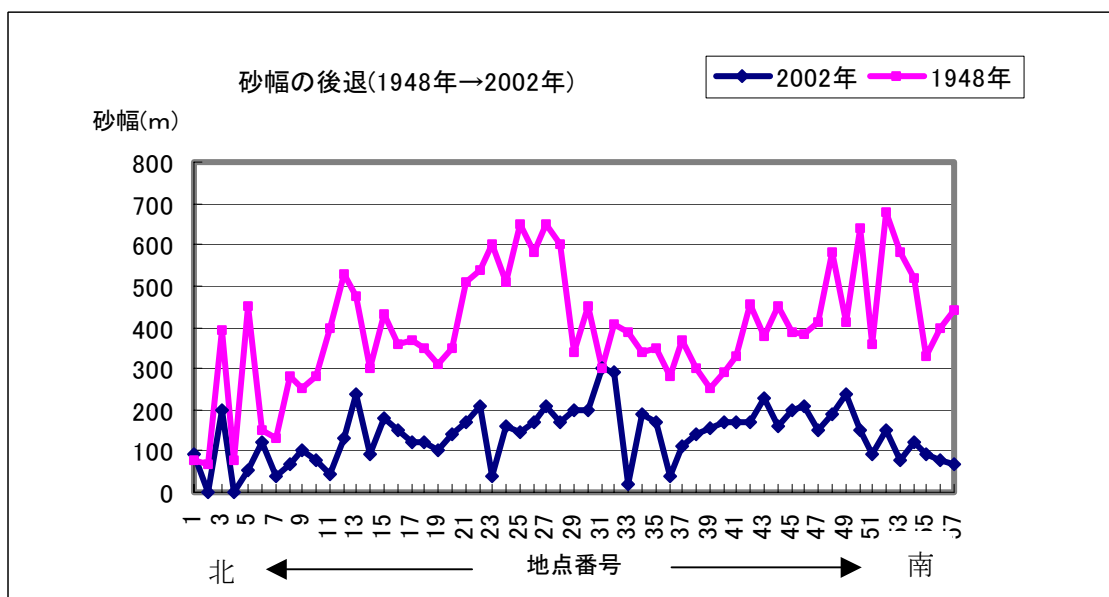


図 4.7.1 1948 年の砂幅と 2002 年の砂幅

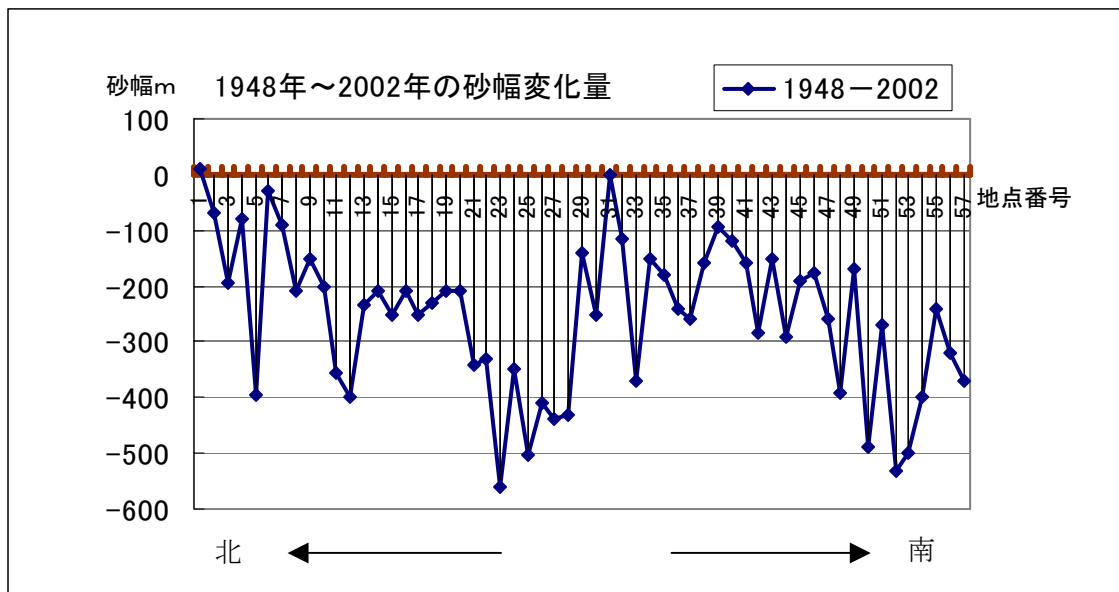


図 4.7.2 1948 年の砂幅から 2002 年の砂幅変化量(54 年間)

北端の飯岡と中央の片貝以外は、大幅な砂幅の後退が読み取れる。年平均 4.7m で狭まってきている。星上ら (2005) は、その原因を防砂林の植林にあるとしている<sup>1)</sup>。

参考文献

- 2) 星上幸良・小林昭男・宇多高明・熊田貴之(2005)：近世における九十九里浜の形成と変形、沿岸域学会志、第 17 巻第 3 号、pp47-56.

#### 4.8 第4章のまとめ

ここでは、重要な分析手法を提起している。1つは、人工物ヘッドランドの左右の粒度分析から、漂砂の卓越方向を推定するという独自の手法である。もう一つは、汀線の経年変化量と粒度分布、比重、砂鉄分布、含水比を比較すると、侵食・堆積の判定ができ、さらに人工物ができる前後の汀線変化量を比較すると人工物の影響も調べられるということである。この他に、比重、砂鉄分布、含水比、円磨度・球経度などから考察した。

その結果は、次のようにまとめられる。まず粒径は漂砂の卓越方向に向けて小さくなる。したがって、堆積傾向にある砂浜は粒径が細かく、侵食傾向にある砂浜は粒径が粗い。人工物であるヘッドランドで遮られた砂がその左右で相違する。この相違から沿岸漂砂の卓越方向を推定できると仮定したが、この人工物を利用した方法は既往の研究では見当たらないので従来の方法とは異なる。また、この方法が有効であることがわかった。

汀線の経年変化量の考察からは、侵食傾向にある砂浜は当然、汀線の後退著しく砂を比重で見ると、堆積傾向の砂浜は比重の小さい細砂であることがわかる。砂鉄分布では、砂鉄分の多い海岸ほど侵食傾向にある。人工物で固められた九十九里浜北端では砂鉄分は少なくなり、反対に、人工物の影響の少ない南九十九里浜では砂鉄分が異常に多くなっている。この現地踏査では、砂丘下の砂鉄層から直接砂鉄分が洗掘されていることがわかった。含水比で考察すると侵食傾向の砂は密度が高く含水比は低い。

円磨度・球形度で見れば、粗い砂ほど円磨度・球経度が高く、粒子が細かい砂ほど円磨度・球経度ともに低い。大きくて重い砂や岩石は、衝突力が大きいため摩滅しやすいのである。

人工物ができる前後の汀線変化量を比較すると、護岸工事前は九十九里浜北端の飯岡と南九十九里浜片貝寄りを除き、全体としては、九十九里浜は堆積傾向にあり、汀線はゆっくりと前進をしていた。護岸工事が施された1974年以後は、北端の飯岡と中央の片貝漁港堤防北側でより大きく堆積した。九十九里浜全体としては北から侵食が南下し、九十九里浜南端の一宮・東浪見海岸に至っては激しい侵食に見舞われている。砂幅も極端に狭くなってきている。この原因は、第5章で述べる。

## 第5章 結論および今後の課題

### 5.1. 九十九里浜の地質年代からみた地形形成過程

九十九里浜は、東北部の屏風ヶ浦から南端の太東岬まで延長約 60km、幅約 10km の大きさで広がる美しい弓形を描いた隆起海岸平野(coastal plain)である。遠浅な砂浜海岸でその勾配は非常に緩やかであり、 $1/50 \sim 1/100$  である。これは、九十九里浜が潮流の影響を受けて堆積した新しい堆積物からなる地形であることを示している。九十九里浜の特徴は、海岸と平行に細長く伸びる浜堤が数列発達することである。これら一つひとつの高さは 1m ~ 数 m に過ぎない。これらの浜堤は平野が内陸から現在の海岸線に向かって徐々に拡大してきた。中央部の砂浜は約 2m/年の割合で前進してきた。

しかし、北端の飯岡海岸では激しい侵食に見舞われてきた。鎌倉時代(1200 年)から 800 年間で 2km~6km も陸地が後退した。そのため、侵食防止工として江戸末期には石詰柵工や法留蛇籠工により、また昭和初頭にはコンクリートによって護岸工事が行われた。

九十九里浜の北端部と南端部から進んでいる海岸侵食の原因は屏風ヶ浦と太東崎で 1966 年から進められた崖侵食防止工(消波堤)の設置と、飯岡漁港、太東漁港の拡張等に伴う沿岸漂砂の阻止によるものである。現在の地形変化は、地力による地形形成ではなく人工物による地形形成である。

現地踏査の結果、北九十九里では、保安林の海側に保安林自体を防護するための土堰堤が設置され、更に海側には管理用通路と直立護岸、消波ブロックが設置されており、砂浜は完全に喪失し人工化された空間となっていた。南九十九里の東浪見海岸では、保安林前面に設置された土堰堤の海側斜面に高さ 4m くらいの浜崖が生じ、下の砂鉄層から砂鉄が直接洗掘され、砂浜を真っ黒な砂鉄で埋め尽くしていた。また、砂丘が波に削られて、現在、災害復旧事業により大型フトンカゴ式護岸が建設中である。隣接箇所では陸上に養浜用の砂が山積みされていた。土地利用が固定化された結果、波の遡上に対する余裕幅が無くなり砂浜の人工化が進んでいる。

### 5.2 分析結果および考察

粒度分析では、粒径の大小から沿岸漂砂の卓越方法を推定できることを応用し、人工物であるヘッドランド両脇から砂の採集を行い、砂の堆積状況と粒径の大小の相違から漂砂の卓越方法を推定した。この方法は、従来の方法と比較して簡便に卓越方向を推定できる。

汀線変化量と比重、砂鉄との関係は、侵食地域と堆積地域で相関関係にある。とくに、砂鉄は侵食するところに多いので、侵食海岸の指標になる。また、石英は比重 2.65 で、他の軽鉱物や重鉱物との比較砂になる。この多少で侵食・堆積傾向もある程度、推定できる。密度と比重の関係も相関する。含水比は比重の大小と相関する。

過去データと現在を汀線変化量で比較すると、侵食や堆積の原因がよく把握できる。全体がよく見えてくるので将来予測や全体を見回してのプランづくりに欠かせない方法であ

る。

海岸侵食が進み汀線が後退してハマガケが形成される場所ができると、その部分の修復に目をうばわれて他が見えなくなることがある。沿岸漂砂によって長い期間をかけて形成されてきている海浜地形では、その形をもつに至った理由について十分考察しなければならない。その上で種々の海岸工事の計画を進める視点が重要である。短期的に見ると護岸や消波ブロックなどを設置することにより効果が上がったように見えても、長期的な地形変化を観察すると対策以前と同じ問題がその位置を変えて、再び生じてしまっている例を現地踏査で確認した。

九十九里浜の地形は、6,000年の長い時間をかけて形成されてきたものである。ここに歴史的な自然の営力が作用している。近年、ヘッドランド、直立護岸や離岸堤などの工事が行われた結果、九十九里浜全体の地形形成に大きな影響を与えてきた。こうした人為的地形改変は九十九里浜の漂砂系全体に影響をしている。

今回、地形形成史をとりあげたのは短い時間スケールで問題となる地点の保全のみを図ろうとすると、漂砂系全体に影響が及んで均衡が失われ、最終的に九十九里浜全体が護岸や消波ブロックに覆われてしまうことになる。したがって、数百年、数万年を対象とする地形工学的な見方を取り入れて、現在の海岸工学の工事基準（数日～数十年程度の物理現象の再現）を補うことが重要である。これが、本研究の結論である。

### 5.3 具体的な提案

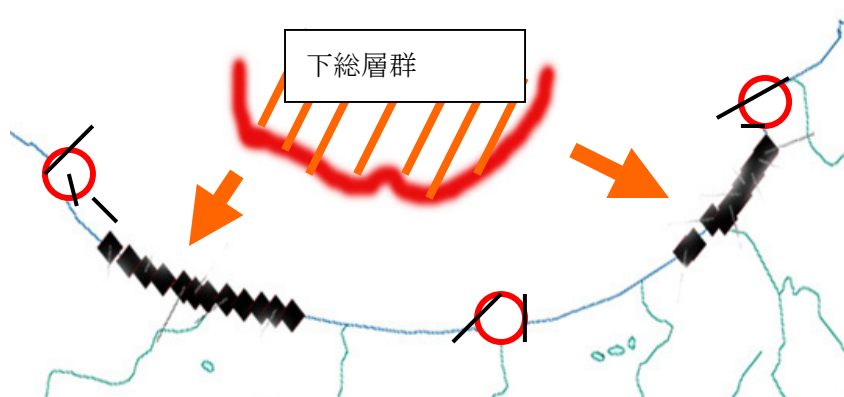


図-5.3 海岸保全の提案 ○印は漁港防波堤、■印はヘッドランド、—印は離岸堤(平塚原図)

これ以上、人工物を増やさないようにする提案をする。一般的には、堆積した場所からサンドリサイクルをしたり、港湾の浚渫土を使用して侵食地へ養浜に土砂を運んでいる。

ここでは、地質の知見を生かした提案をする。九十九里中央の沖合 5 km から下総層群の海砂がある(p20.図-2.3.2.3 参照)。この砂は、海にあるから生態系に馴染む良質の養浜砂として使用可能である。動力には、風力発電または波力発電の持続可能な新エネルギーを使う。漁業権をもつ漁業者の了解が必要になるが、漁礁を建設しながらこの海に眠る山砂と同質の下総層群の土砂を利用するのである。

どうしても海岸工事をしなければならない場所については、既設の漁港・ヘッドランド・離岸堤・河川の道流堤であるから、海岸線の安定の見地から調和のとれた施工をする。

## 5.4 今後の課題

現地踏査や既往研究から、九十九里浜の問題点があきらかになった。

### 5.4.1 個人としての課題：研究方法の改善

- ①九十九里浜を九十九里湾とみだてて、シミュレーションする。
- ②海水浴場にふさわしい砂のふさふさ度、快適度を定量化する方法の確立、N 値の測定などをする。
- ③九十九里沖合を流れる局地的な海流の分析をして漂砂系を拡張して考える。
- ④微化石、花粉化石の分布状況から侵食・堆積の傾向を調べる方法を見つける。

### 5.4.2 地域としての課題：

- ①九十九里平野は、勾配が緩すぎて排水がよくない。河川の氾濫が起りやすい。
- ②元禄地震のときには、数千人の犠牲者を出した。津波に対する防災対策の充実が必要である。
- ③サーファーは海水浴客を上回って来る。しかし、彼らに対する安全性の確保やトイレの施設がない。
- ④絶滅危惧種の保護運動が盛んでない。ハマボウフウが全滅の危機にある。
- ⑤護岸のため、アカウミガメが産卵できないところが多くなってきている。

## 5.5 展望

- ① 行政主導型で新海岸法の3つの理念が啓蒙され、千葉県では「千葉東沿岸海岸保全基本計画」が策定された。環境問題が行政と国民から真剣に取り組みされはじめ、よい環境が整ってきた。
- ② それを受けて住民がNPO活動などで海づくりをはじめようになった。三番瀬を守る運動をはじめ、千葉市では人工海岸である「稲毛海浜公園」にハマヒルガオを育て植えるプロジェクトをはじめた。
- ③ 環境意識の高まりの中で、地元で運動を起こせる条件が整ってきた。我がふるさと旭市でも観光立県を実現すべく海づくりの提案を著者に求めてきている。やりがいのある時代に来ていると思う。
- ④ どこでも、いつでも海のあるところは、「美しく、安全で、いきいきした海岸」に創造できる、その展望は明るい。この研究室で得た知識を大いに地元還元したいと思う。



## 謝辞

本論文をまとめるにあたり、沿岸域研究室の鯉渕幸生講師、磯部雅彦教授には、研究活動に関する多大なご指導を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

辻誠一郎教授には地質学的な知見を、佐藤慎司教授には漂砂に関する知見やアドバイスをいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

研究室の友人にはご協力いただき、また、外部の専門家を紹介いただきました。とくに、国際航業(株)の星上幸良様には、九十九里浜の論文資料を著者に賜り貴重なアドバイスをいただきました。記して謝意を表します。

資料収集にあたり、関係機関、地域整備センター(銚子、海匝、山武、長生)のご協力をいただきました。記して謝意を表します。

最後に、非力な私を絶えず励まし、なによりも私に勇気を与え続けてくれた妻、愛子に深い感謝の気持ちを記したい。

2006年1月

付録 3 N値

N値は、地盤の固さを表現する。砂浜の固さ、とくに、人工海岸と自然海岸の地番の固さを比較できないか、と考え、九十九里浜のN値を「千葉県地質環境インフォメーションバンク」のホームページから、データを得て作成した。N値を求める試験は「標準貫入試験」と呼ばれ、地盤工学会「地盤調査法」や日本工業規格（JIS A 1219）で試験方法が細かく規定されている。この標準貫入試験方法は、63.5kgのハンマーを75cmの高さから自由落下させて、サンプラーを土中に30cm貫入させるのに要する打撃回数を測定する試験で、この時の打撃回数がN値である。一般にボーリング調査と併用され、1m毎に実施される。

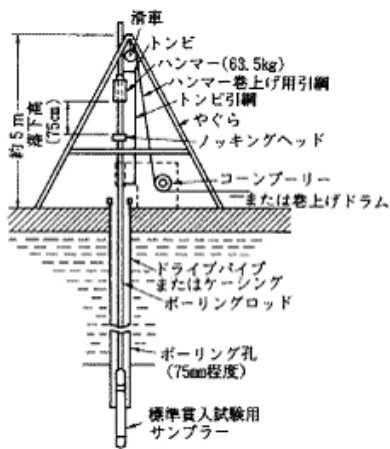


図 3.1 標準貫入試験装置<sup>1)</sup>

この標準貫入試験の特徴は、次のようになる<sup>1)</sup>。

長所	短所
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 多くの国で基準化された試験方法で、結果の評価・対比が容易</li> <li>2. 現状の土を採取でき、土の観察が容易（物理的な土質試験に使える）</li> <li>3. N値の利用分野が各種の規準で確立している</li> <li>4. 過去データが多数蓄積されている</li> <li>5. 支持層確認（<math>N \geq 50</math> が 5m連続）が可能</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 広い調査スペース（乗用車2台分以上）を確保する必要がある</li> <li>2. 試験時間が長い（場合によっては数日）</li> <li>3. コストが比較的高い</li> <li>4. 超軟弱な地盤では、データが荒くなりやすい</li> <li>5. 打撃音やモーターの音がする</li> </ol>

表 3.1 標準貫入試験の特徴

硬い地盤は、おもりの落下回数が多く、逆に軟らかい地盤は、おもりの落下回数が少ない。砂層と粘土層の場合のN値と地盤の固さの関係は、下表のようになる<sup>2)</sup>。

	土の状態	砂層	粘土層
1	極めて緩い 極めて軟らかい	0～4	0～2
2	緩い 軟らかい	4～10	2～4
3	中位	10～30	4～8
4	密に締まっている 硬い	30～50	8～15
5	極めて密である 極めて硬い	50以上	15～30
6	極度に硬い		30以上

表 3.2 N値と地盤の関係

この表をもとにして、九十九里浜海岸の主な海水浴場のN値の評価をする。すなわち、建築地盤はN値が高い方が良くとされるが、砂浜は、逆にN値が小さい方が柔らかい、と言える。

測定データのあった地点とN値の大きさ(評尺 1m)を下図に示す。

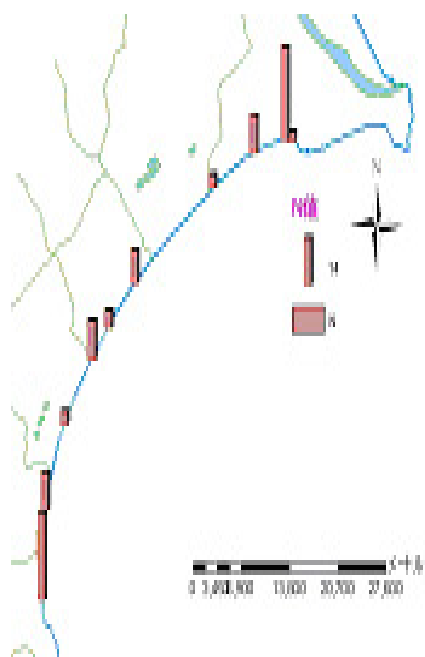


図 3.2 位置とN値の大きさ

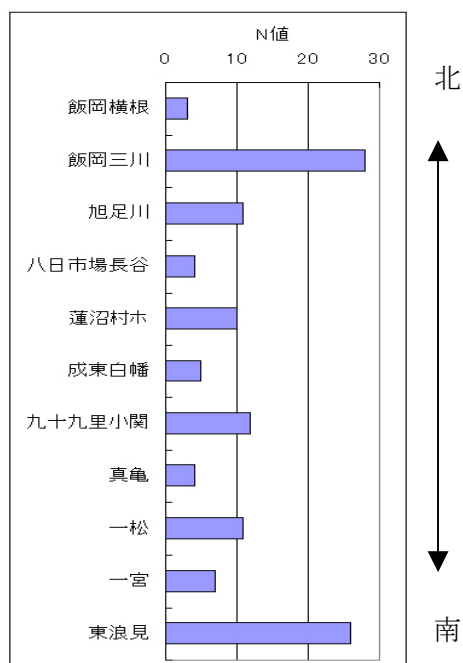


図 3.3 各地区のN値(評尺 1m)

標尺 m	飯岡横根	飯岡三川	旭足川	八日市場 長谷	蓮沼村木	成東白幡	九十九里 小関	真亀	一松	一宮	東浪見
1	3	28	11	4	10	5	12	4	11	7	26
2	7		9	4	11	11	21	31	27	8	25
3		16	25	2	15	19	44	36	10	15	30
4		26	23	18	31	13	50	30	31	21	23
5		23	30	21	45	12	50	16	24	38	22
6	19	38	31	12	48	14	50	23	26	24	21
7	23	23	30	19	35	22	50	50	22	22	16
8	15	36	30	21	38	31	50	38	24	20	30
9	14	31	30	24	41	40	50	25	33	18	50
10	13	32	30	19	50	39		50	40	20	50
11	30	19	33	37		48		50	50	25	50

表 3.3 地図上の場所におけるN値

北端の飯岡三川海岸と南端の東浪見海岸が、評尺 1mの深さで、それぞれN値 28 と 26 で、他の海岸地盤より固い。三川海岸は離岸堤と養浜で砂浜が広がっているため、人工海水浴場と言える。南端の東浪見海水浴場は、侵食で砂幅が減少し、砂鉄で真っ黒な海岸である。このことは人工の海水浴場は固く、また、人工でなくても侵食の激しい東浪見海岸は、密度の高い砂鉄分が多いために固い、と推定できる。砂浜を回復した九十九里北端の海岸は、自動車の乗り入れ禁止地域であるが、自動車が平気で快走している所であることから見ても、固い砂浜である。その固さは、裸足で感じ取れる。

それに対して、自然に残っている他の海水浴場のN値が低いのは、比較的、ふわふわした砂浜、と考えられる。自然の砂浜は足さわりが良く、ふわふわ、さらさらした感じのよい海水浴場となる。また、自然の砂浜は、アカウミガメやコアジサスの産卵地に適し、磯浜に生息する生物、カニ類、はまぐりなどの生物にとっても好敵地と言える。

#### 参考文献

- 1) N値およびc・φ編集委員会（1995）：N値およびc・φ-考え方と利用法、地盤工学会
- 2) N値の話編集委員会（2004）：N値の話 改訂版、理工図書