湘南海岸における飛砂量の検討

EVALUATION OF RATE OF WINDBLOWN SAND ON SHONAN COAST

宇多高明[1]・青島元次[2]・吉岡 敦[3]・三波俊郎[4]・石川仁憲[5]
Takaaki UDA, Genji AOSHIMA, Atsushi YOSHIOKA,
Toshiro SAN-NAMI and Toshinori ISHIKAWA

[1]正会員　工博　(財)土木研究センター理事なぎさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科（〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4）
[2]神奈川県藤沢土木事務所なぎさ港湾部部長（〒253-0033 神奈川県茅ヶ崎市汐見台1-7）
[3]神奈川県藤沢土木事務所なぎさ港湾課（〒253-0033 神奈川県茅ヶ崎市汐見台1-7）
[4]海岸研究室(有)　（〒160-0011東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉301）
[5]正会員　工修　(財)土木研究センターなぎさ総合研究室（〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4）

The rate of windblown sand in the period with various time scales ranging between geomorphological to engineering time scales was evaluated, taking the Shonan coast extending between the mouth of the Sagami River and Enoshima as the example. The rate of windblown sand necessary for coastal management is discussed. It was estimated from the development of sand dunes after the era of Jomon transgression of sea 6000 years before present. Furthermore, taking the angle between the wind direction and the coastline into account, the rate of windblown sand at typical points was evaluated. Reviewing previous papers related to the rate of windblown sand on the Shonan coast, longshore distribution of the rate of windblown sand was proposed.

Key Words : *Rate of windblown sand, Shonan coast, Jomon transgression of sea, coastal management*

1．はじめに

湘南海岸では，卓越する西寄りの風により常に一方向への飛砂が発生し，海浜背後の自転車道の埋没や海浜の土砂損失の要因になっている．**図-1** は平塚観測所における 10m/s 以上の風速の方位別発生頻度である．強風時には N，SW，SSW の風が卓越する．湘南海岸は南に面しているため，飛砂を発生させる風は SW，SSW 方向の風である．一方，宇多ら[1]によれば，相模川河口から江ノ島間では東向きの沿岸漂砂が卓越し，近年では相模川からの土砂供給の激減等により侵食が進んでいる．このように東向きの沿岸漂砂の作用に，西寄りの風に伴う飛砂が重なる当海岸において，適切な海岸管理を進めるには飛砂の作用を無視できず，とくに養浜による海岸保全を行う場合には，その定量的検討が必要になる．これまでの飛砂に関する検討は，ある地点における局所風と飛砂量との関係を直接測定によって調べようとする研究がほとんどであり，砂丘地を含む湘南海岸全域の地形特性，地形変化を考えた上での飛砂量の検討は行われたことがない．

本研究は相模川～江ノ島間の海岸を対象に，様々な時間スケールの現象を基にした飛砂量の推定を行い，今後の海岸管理に必要な飛砂量について明らかにする．まず数千年の地形学的スケールとして縄文海進以降の砂丘発達より飛砂量を推定し，次に，風向と地形的特性および現地状況から飛砂が卓越する箇所を選定し，数十年から数年スケールの地形変化から飛砂量の推定を行った．さらに既往文献より飛砂量を調べ，これらを総括した上で飛砂量の沿岸分布を明らかにする．

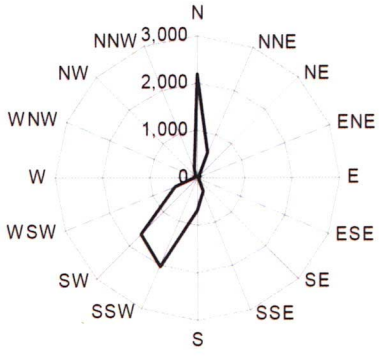

図-1 平塚観測所における10m/s以上の風速の発生頻度（1996.1-2006.1）

2．数千年スケールにおける飛砂量の推定

大磯港から江ノ島にかけての湘南海岸の内陸に広がる低地（以下，相模平野と呼ぶ）上には，飛砂によって形成された堆積層（砂丘）が分布する．この堆積物は前浜から飛砂として内陸へ供給された砂が，縄文海進最盛期以降の汀線の前進にともなって低地上に残されたものと考えられる．したがって海浜から見た場合，これらの堆積物の総量は縄文海進期以降に海浜から飛砂によって運び去られた総土砂量にほぼ等しい．以下では，飛砂による堆積層の分布域に，概略の層厚を乗じることでこれらの土砂の総量を推定する．

図-2 は太田ら[2]による，相模平野における砂丘分布である．現在の海岸線の背後には海岸線に沿ってほぼ連続的に砂丘が分布するが，これよりも内陸では，現海岸線と平行な砂丘列，縦列砂丘，小規模な独立丘が不連続に分布している．最も海側の現砂丘が海岸線に沿って連続的に分布していることを考えると，過去の海岸線の背後にも飛砂堆積物が沿岸方向に連続的に堆積したはずである．したがって太田らが砂丘と分類した以外の場所にも砂丘砂が広く分布すると考えるのが妥当である．**図-3** は国土地理院の 50m メッシュ標高値から作成した地形段彩図に，地形分類図[3]の「砂丘」，「砂堆・砂州」の分布域（斜線の範囲）を重ねたものである．相模川流域の氾濫原・自然堤防・蛇行部を除き，砂丘および砂堆・砂州の区域は主に内陸 5km 程度まで分布し，太田ら[2]による砂丘の分布域の外縁にほぼ一致している．分布域の標高はほぼ 4m 以上と高く，相模川～江ノ島間では内陸に向かって標高を増している．**図-3** の破線は，相模平野のボーリング資料より推定された海成層の陸側境界である．海成層は現在の汀線よりも 8km 程度内陸まで分布しており，海進最盛期（約 6,000 年前）の相模川河口は破線付近にあったと考えられる．**図-3** の等高線は，太田ら[2]が露頭観察とボーリング資料から求めた相模平野上の砂丘砂層厚と基盤高度より与えた砂丘の概略の基盤高度を示す．この基盤高度と地形標高との差より砂丘の層厚分布を求めたのが**図-4** である．相模川～江ノ島間では標高が内陸に向かって増すとともに砂丘の層厚も増大し，最大で 10m 以上に達する．一方，最も海側の現砂丘の層厚はほぼ 2～3m である．**図-4** より砂丘砂の総土砂量を求めると $1.4\times10^{8}\mathrm{m}^{3}$ となるが，砂丘の分布域は汀線からほぼ 5km 以内に限られることから，約 4,000 年前以降に形成されたとみなすと，飛砂量は $3.5\times10^{4}\mathrm{m}^{3}/\mathrm{yr}$ となる．さらに海岸線延長が 15km なので，この値で割って単位海岸線当りの飛砂量を算出すると $2.3\mathrm{m}^{3}/\mathrm{m}/\mathrm{yr}$ となる．

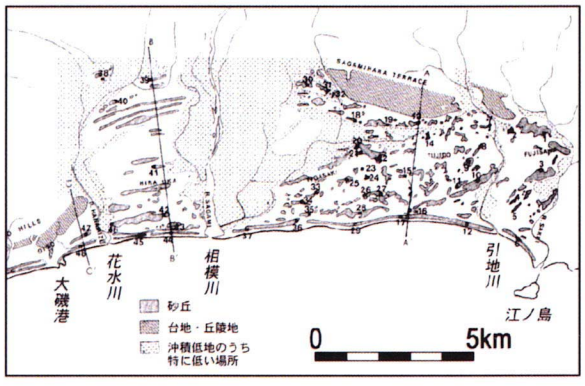

図-2 砂丘の分布[2]

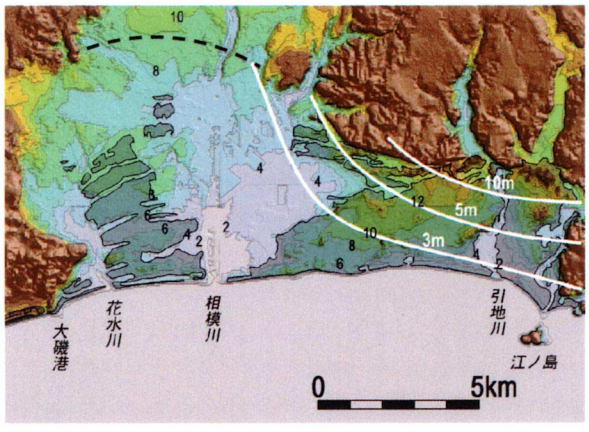

図-3 地形図と飛砂堆積物の算定範囲

3．数十年スケールにおける飛砂量の推定

相模川から江ノ島にかけての湘南海岸は，相模川からの供給土砂の減少と，茅ヶ崎漁港の建設に伴う沿岸漂砂の不均衡と度重なる高波浪の来襲により海岸線が変化してきた．宇多ら[1]によれば**図-5** に示す 3 号放水路付近を不動点として時計回りの汀線変化が生じ，この点より西側は侵食傾向，東側は堆積傾向である．**表-1** は**図-5** から読み取った海岸特性が異なる各地点における海岸線への法線と強風時の主風向のなす角度，および風向方向に測った汀線から堆砂垣までの距離（浜幅）を示す．角度の絶対値が小さく，浜幅が広いほど背後地への飛砂が著しいことを意味するが，これより片瀬西浜，辻堂，ヘッ

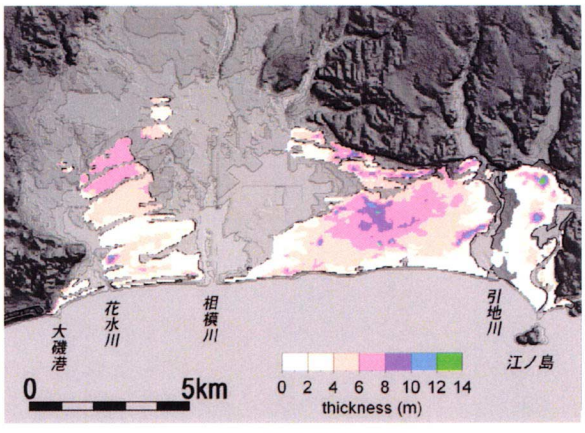

図-4 砂丘の層厚分布

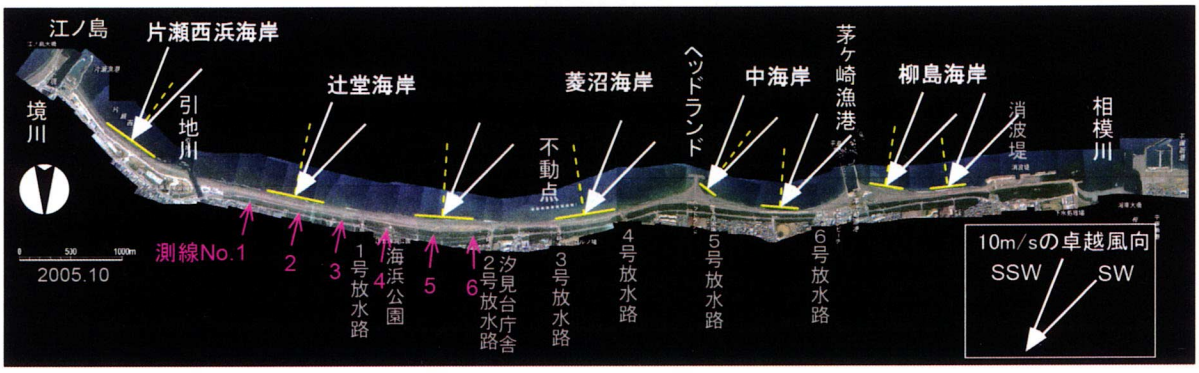

図-5 主風向SW,SSWと海岸線との関係

表-1 卓越風向と海岸線への法線とのなす角と浜幅

地点	SSW	SW
片瀬西浜	-16.5°（70）	+6.0°（70）
辻堂（東）	+10.0°（70）	+32.5°（80）
辻堂（西）	+18.0°（80）	+40.5°（100）
菱沼	+21.0°（30）	+43.5°（50）
ヘッドランド東側	-15.5°（80）	+7.0°（100）
中海岸	+7.0°（10）	+29.5°（20）
茅ヶ崎漁港西側	+12.0°（60）	+34.5°（80）
柳島	+28.0°（30）	+50.5°（50）

※（ ）内は風向方向の浜幅（m,汀線～堆砂垣）

写真-1 辻堂海岸の飛砂の堆積状況（1979年撮影）

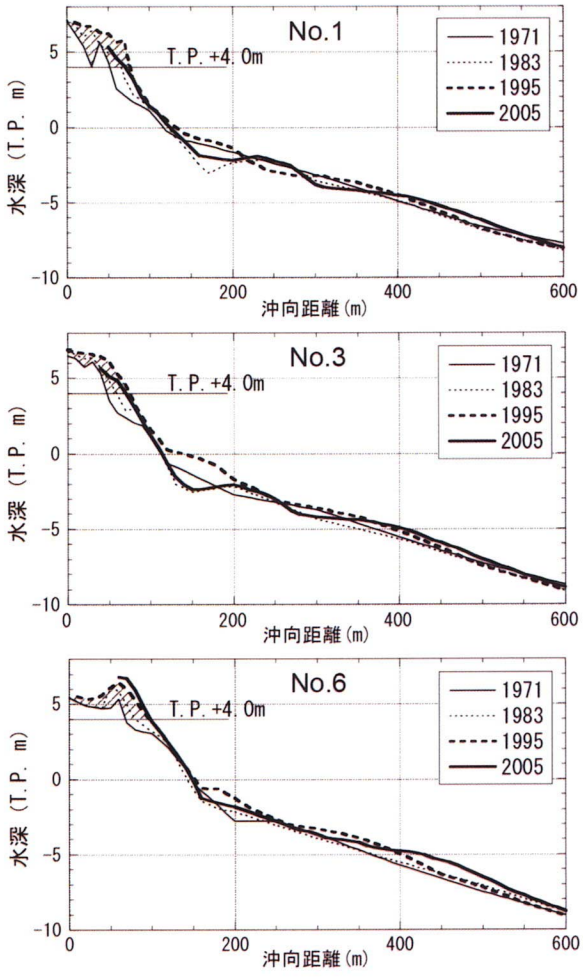

図-6 辻堂海岸の縦断変化

ドランド背後で飛砂が著しく，侵食が進み，浜幅が狭い中海岸や，浜幅が狭く海岸線に対して風が大きく斜めから吹く柳島海岸や菱沼海岸では背後地への飛砂が相対的に少ないと推定される．

飛砂が著しいと推定される箇所のうち，辻堂海岸（引地川～2 号水路）では幅 100m 前後の広い砂浜が連続し，沿岸方向に約 3km と広い範囲で飛砂が発生している．そのため，**写真-1** に示すように 1970 年代から飛砂対策として堆砂垣が後浜上に設置され，背後の自転車道や保安林への堆砂低減効果を発揮してきた．そこで**図-5** に示す各測線の自転車道路よりも海側における海浜縦断形を用いて飛砂量を算定した．**図-6** に測線 No. 1，3，6 の縦断形変化を示す．1971 年では，いずれの測線においても標高 3m 以下にバームが発達し，その背後には標高 5～7m の後浜が見られる．その後 1995 年にかけて汀線前進量は最大でも 20m 程度であるのに対し，標高 3m 以上の後浜は飛砂垣による堆砂効果によって後浜が沖向きに前進し，ほぼ全域で 30m 程度沖向きに前進している．なお，2005 年では 1985, 1995 年と比べて後浜

の変化量が少なく，測線 No.1,3 では 1995 年より後浜高が低い．これは 1995 年以降 2～3 年毎に堆砂垣の改修が行われていることによる．ここで，標高 4m 以上が飛砂の堆積によって形成されたと見なし，断面積変化量より同地区における単位海岸線当たりの飛砂量を算出すると平均で 4.5m^3/m/yr となる．

4．数年スケールにおける飛砂量の推定

飛砂が著しい辻堂海岸や菱沼海岸のヘッドランド周辺では，堆砂垣が 1 回／1～2 年の頻度で改修されてきた．そこで，これら 2 地区における堆砂垣の埋没状況から飛砂量を算出した．

(1) 菱沼海岸（ヘッドランド背後）

茅ヶ崎海岸中海岸と菱沼海岸の間にあるヘッドランドの背後では，冬季季節風（西風）の作用による飛砂が著しい．この状況は堆砂垣の埋没状況から確認できる．**写真-2** は，2007 年 12 月におけるヘッドランド基部から西側を望んだ状況である．高さ 1.2m の堆砂垣は飛砂が堆積して上部の約 0.2m を残して砂に埋まっている．**写真-3** は，同地点で東側を望んだ状況である．浜辺に座る人の左手奥の堆砂垣にも大量の砂が堆積している．この場所では，2006 年 2 月 10 日に堆砂垣の改修工事が行われていることから，上記の堆砂は約 2 年間で生じている．その堆砂量は，延長×幅×層厚＝280m×20m×1m=5.6×10^3m^3 となるので，年当りの飛砂量は 2.8×10^3m^3/yr となる．また単位海岸線当りの飛砂量は，SSW～SW 方向に面した海岸線延長約 350m より 8.0m^3/m/yr となりかなり大きい．

(2) 辻堂海岸

辻堂海岸（引地川～2 号水路間）においても**写真-4** に示すように堆砂垣の頂部まで砂が堆積している．そこで，菱沼海岸と同様にこの堆砂垣の埋没状況を調査した結果，堆砂量は 3×10^4m^3 であった．堆砂垣の改修が 2～3 年毎に実施されていることから，年当りの飛砂量は 1.0×10^4m^3/yr となる．これを海岸線延長で割ると単位海岸線当りの年間飛砂量は約 6.0m^3/m/yr となる．

4．既往の飛砂調査

鈴木 [4]は，辻堂，柳島海岸において，地上 1m～6m まで 1m 間隔に設置した首振り式捕砂器を用いて飛砂量観測を行っている．1 年間の総飛砂量から単位海岸線当たりの年間飛砂量を算出すると，辻堂海岸では 1.5 m^3/m/yr，柳島海岸では 0.5 m^3/m/yr となる．また，鈴木 [4]による引地川～相模川までの自転車道路上の堆砂量の沿岸分布より，海岸毎の単位海岸線当りの飛砂量として整理すると**表-2** となる．

写真-2 菱沼海岸の飛砂の堆積状況（2007年撮影）

写真-3 菱沼海岸の飛砂の堆積状況（2007年撮影）

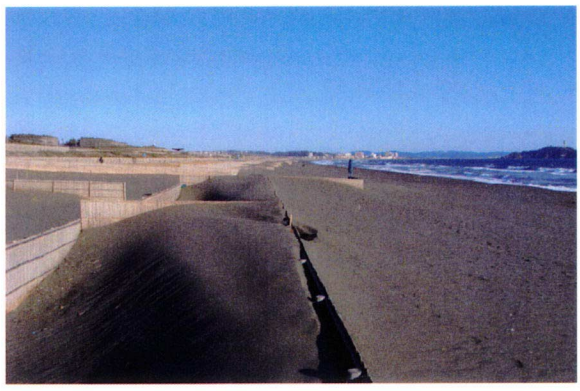

写真-4 辻堂海岸の飛砂の堆積状況（2007年撮影）

辻堂海岸や菱沼海岸では最大で約 5 m^3/m/yr である．また，1990 年代で既に砂浜が狭い中海岸では堆砂量が少ない．ここで辻堂海岸に対する各海岸の堆砂量は，辻堂：菱沼：中海岸：柳島＝1：1.2：0.7：0.7 の関係が見られる．

塚本ら [5]は，茅ケ崎市汐見台において砂防林とサイクリング道路の境界から陸側の砂防林内に落下する飛砂量を測定し，1 年間の総飛砂量を 93 kg/m/yr と推定した．1m^3=1.7t とすると 0.05 m^3/m/yr であり，サイクリング道路より海側の堆砂量，飛砂量に比べて 1 オーダー小さい．1 地点のみの結果ではあるが，これよりサイクリング道路背後の砂防林内に落下する飛砂量はかなり小さく，飛砂を考える場合に無視できると判断できる．

田淵[6]は，片瀬西浜，辻堂海岸，菱沼（ヘッドランド），柳島の前浜，後浜，自転車道路上の堆砂の底質調査を行った．調査結果から読み取った各地点の後浜および自転車道路上の堆砂の底質特性を**表-3**に示す．これより飛砂は，主に 0.25mm 以下の細砂であり，西側に向かって中砂の含有率が増える傾向がある．

表-2 自転車道路上の飛砂量

地点	飛砂量(m^3/m/yr)		
	実測値	平均値	飛砂量比
辻堂	0.3～5.2	2.4	1.0
菱沼	0.3～4.6	2.8	1.2
ヘッドランド(建設前)	2.3～4.2	3.3	1.4
中海岸	0.3～3.7	1.6	0.7
柳島	0.2～3.8	1.7	0.7

5．飛砂量の沿岸分布の推定

以上の調査結果を整理し，各海岸の飛砂量を**表-4**，**図-9** のように推定した．まず，縦断測量結果や堆砂垣上の堆砂量より算出した飛砂量が同程度であった辻堂海岸の飛砂量を $5m^3/m/yr$ と設定し，風向と海岸線の角度，浜幅，堆砂垣の改修頻度等が同程度の片瀬西浜，ヘッドランド背後は同等の飛砂量とした．菱沼は，堆砂垣の改修頻度が少なく，現在は浜幅も狭いことから改修頻度が同程度の柳島と同等とし，その値は辻堂に対する堆砂量比により表現した．

表-3 後浜と自転車道路上の堆砂の粒径[6]

測定位置		d_{50} (mm)	含有率（%）		
			細砂 0.075 -0.25mm	中砂 0.25-0.85mm	粗砂 0.85-2mm
鵠沼	後浜	0.13	98	2	0
	自転車道路	0.13	98	2	0
辻堂（2号放水路東側）	後浜	0.17	92	8	0
	自転車道路	0.18	85	15	0
ヘッドランド	後浜	0.20	64	32	2
	自転車道路	0.17	88	12	0

表-4 推定飛砂量

ブロック	片瀬西浜	辻堂	菱沼	ヘッドランド	中海岸	柳島
数千年ｽｹｰﾙ (m^3/m/yr)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
数十年ｽｹｰﾙ (m^3/m/yr)	—	4.5	—	—	—	—
数年ｽｹｰﾙ (m^3/m/yr)	—	6.0	—	8.0	—	—
堆砂垣の改修（回/年）	1/1～2	東：1/2～3 西：1/1～2	1/5	1/1～2	—	1/5
既往文献 (m^3/m/yr)	—	2.4	2.9	3.3	1.6	1.7
推定飛砂量 (m^3/m/yr)	**5.0**	**5.0**	**1～3.5**	**5.0**	**0～3.5**	**1～3.5**
底質（細砂：中砂）	10：0	9：1	8：2	8：2	—	8：2
設定根拠	推飛砂量：≒辻堂海岸 底質：実測値	推飛砂量：縦断測量・実測値より設定 底質：実測値	推飛砂量：≒辻堂海岸×0.7 底質：ヘッドランドと同程	推飛砂量：≒辻堂海岸 底質：実測値	推飛砂量：≒辻堂海岸×0.7	推飛砂量：≒辻堂海岸×0.7 底質：ヘッドランドと同程度
範囲	引地川～江ノ島	2-3号放水路～引地川	ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ～2-3号放水路	ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ背後約700m	茅ヶ崎漁港～ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ	相模川～茅ヶ崎漁港

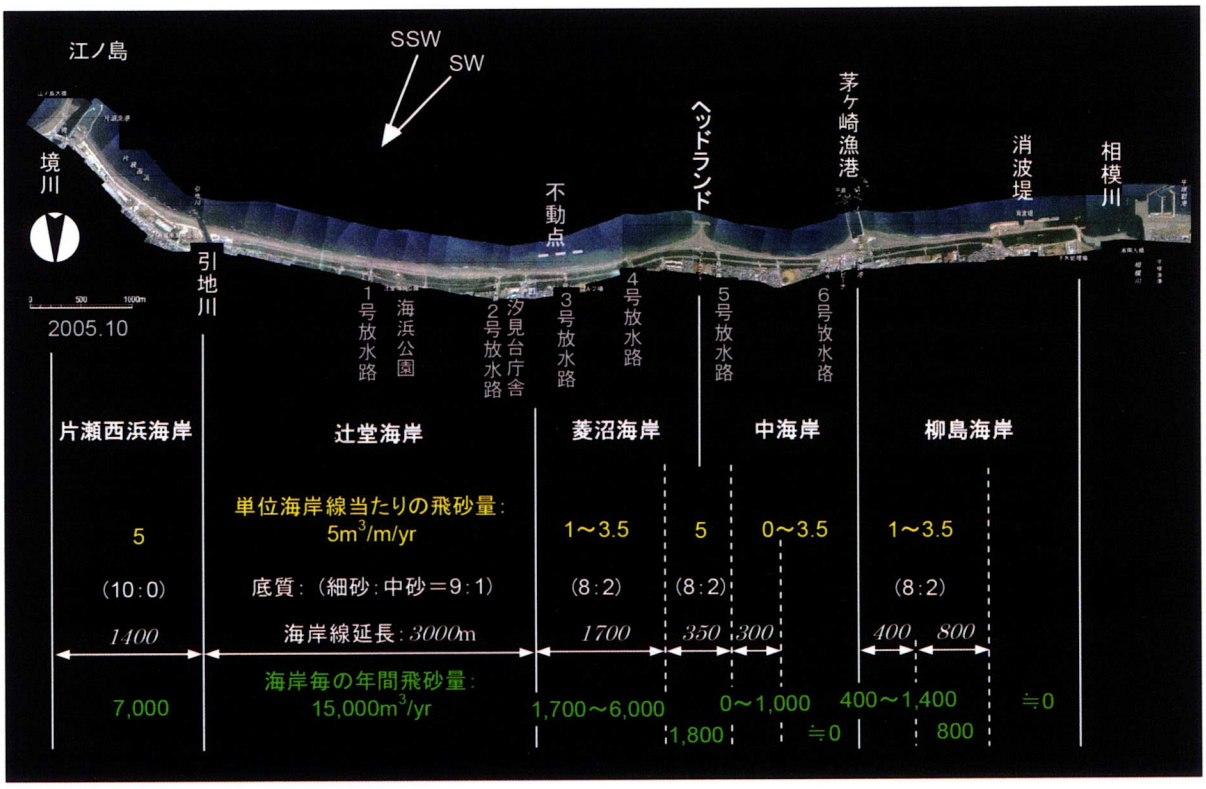

図-9 海岸毎の推定飛砂量（単位海岸線当たりの飛砂量と年間飛砂量）

また，侵食が著しい中海岸では僅かに残る砂浜からは飛砂がほとんど発生していないことから 0～1 $m^3/m/yr$ とした．また，**図-9** には海岸毎の単位海岸線当たりの飛砂量に海岸線延長を乗じて求めた年間飛砂量を示した．この結果，相模川～江ノ島間における年間の推定飛砂量の総量は約 $3\times10^4 m^3/yr$ となった．これは対象海岸の近年の沿岸漂砂量 1～$1.5\times10^4 m^3/yr$ の 2～3 倍に相当する．

6．おわりに

数千年～数年の時間スケールで算出した飛砂量は，オーダー的に同程度であったことから，この値を基に推定した**表-4**，**図-9** の飛砂量は概ね妥当な数値であるといえる．本研究のように，現地海岸で起きている飛砂などの自然事象を様々な時間スケールで解析する手法は，導いた値の妥当性を評価する上で有効な手法である．

汀線域から飛砂によって内陸へ運ばれた砂は良く淘汰された粒径が 0.25mm 以下の細砂である．この砂を除去し，海浜に戻さない場合，細粒分の供給が枯渇状態にあるので細粒分の損失を招く．この意味から 2～3 ヵ年に 1 回の堆砂垣の改修工事は海岸の侵食防止の上でも極めて有効である．また，堆砂垣は風向とほぼ直角方向に造られているが，この場合砂は堆砂垣背後に堆積するのみである．飛砂が飛ぶ際，堆砂垣に沿って海側へのフラックスを生じさせるように堆砂垣を風向に対して斜交させる方法を取れば，過剰に堆積した砂を人工的に運ぶ量を減じることができると考えられる．これは遠州灘海岸で歴史的に取られてきた手法である．

また，**図-9** には飛砂量のほかに底質情報も明記した．今後の海岸管理において，飛砂を養浜材として活用する際に役立つと考えられる．

参考文献

1) 宇多高明・木下幸夫・山野　巧・吉岡　敦・三波俊郎・壱岐信二・石川仁憲：長期深浅測量データに基づく湘南海岸の海浜変形の実態分析，海岸工学論文集，第 53 巻，pp. 651-655，2006.
2) 太田陽子・瀬戸則子：相模湾沿岸の砂丘の組成・時代などに関する若干の知見，横浜国立大学理科紀要，Vol.14, pp.35-60，1968.
3) 神奈川県：土地分類基本調査，5 万分の 1 地形分類図「藤沢・平塚」，1988.
4) 鈴木　清：湘南海岸の飛砂の特性について，神奈川県林業試験場研究報告，第 20 号, pp.45-61，1994.
5) 塚本良則・小坂　泉・内山健蔵・坂爪信介・佐々木学・佐藤和枝：湘南海岸砂防林における飛砂分布特性について，日本林学会誌，第 83 巻，第 1 号，pp.45-61，2001.
6) 田淵勇哉：湘南海岸における表層砂の粒径分布特性と植生の関係について，武蔵工業大学卒業研究論文，2003.