

## 第2章 海岸を取り巻く自然的状況の変化

### 2.1 海岸情報による海岸線の変化

第1章で議論してきたように海岸制度は災害を契機として、海岸管理を行う主体が色々と変遷していき、1956(昭和31)年の海岸法の成立によって、災害から海岸を防護するという観点での海岸管理主体が明確に規定された。異なる海岸管理主体ではあるものの、それらが連携を取れるように仕組み作りをしながら、海岸管理が続けられた。

一方、昭和40年代に入り、わが国は高度経済成長時代に突入する。大量生産・大量消費といった生活様式の変化や全国総合開発計画等の国土開発の推進が進められたが、海岸や沿岸域を巡る状況にも大きな変化をもたらした。

海岸に関する情報は当時限られてはいたものの、海岸線に関する情報を科学的に分析することにより、我が国の海岸線がどのような状況になっているかについて考察を行った。即ち、地形図を元にして海岸情報を取得する方法を標準化するとともに、海岸の変貌を定量的かつ客観的に評価できると考え、地形図を用いて、我が国の近年100年、即ち明治期、昭和20年代、平成期の3時期における海岸情報調査を実施した<sup>1)</sup>。この調査においては、地理情報システム(GIS)で利用可能な数値地理情報(海岸情報データ)として整備し、全国的な海岸線の変化の把握を行うとともに、海岸線の変化の著しい地域をモデル地区として、明治～昭和20年代、昭和20年代～平成における侵食・堆積の比較を行った。

調査は図2.1.1の流れに従い地形図を基図として分類を行い、スキャナ取り込みをした地図画像をもとにコンピュータのディスプレイ上での対話編集で数値化、海岸種別等の情報の付与を行った。調査時期は、地形図が最も古くかつ全国整備された明治期、海岸保全対策が本格的に実施される前の海岸線を記録していると考えられる昭和20年代並びに最近の海岸線を記録している平成期とした。なお、北方四島については1996年に人工衛星画像を用いて修正した5万分の1地形図を基図とした。また計測基図の測量年の最頻値の差から明治～昭和20年代は約50年、昭和20年代～平成間は約38年の変化を抽出することになる(表2.1.1参照)。

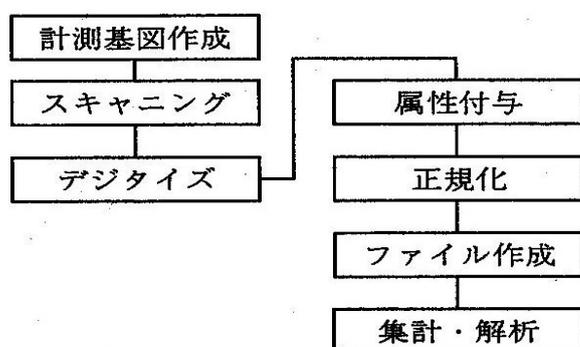


図 2.1.1 調査の流れ

表 2.1.1 基図の測量年

時期	基図（地形図） の縮尺	最頻値	標準偏差
明治	5万分の1 (旧版図)	1903年 (明治36年)	10.5年
昭和20年代	5万分の1 (旧版図)	1953年 (昭和28年)	6.1年
平成	2万5千分の1 (刊行図)* <sup>1</sup>	1991年 (平成3年)	4.4年

\*<sup>1</sup> 北方四島は5万分の1地形図

海岸区分は表 2.1.2 に示すように地形図から判読可能なものを採用した。海岸線を線データとして取得するため、地形図において海岸線（地形図では水涯線）のみが示されている海岸を「一般の海岸」、崖記号が海岸線背後にある海岸を「崖付きの海岸」、汀線に護岸（地形図においては擁壁）や堤防（地形図においては土堤）がある海岸をそれぞれ「護岸」「堤防」とし、汀線より陸側にある護岸や堤防は「海岸保全施設」、それ以外の海岸を「その他」と大きく分類した。「一般の海岸」及び「崖付きの海岸」については砂礫地記号（砂・れきで覆われている地域）が汀線の陸側にある場合「砂礫浜海岸」、岩石記号（地表に露出・散在する岩石）が汀線にある場合「その他の海岸」とさらに分類した。「護岸」及び「堤防」については地形図上の陸部の利用形態に基づいて、「海岸保全施設」については海岸保全施設の種類で分類した。なお、地形図において砂礫地記号あるいは干潟記号（干潮時に水面上に出て満潮面に水面下に没する平坦な砂、泥からなる部分）となっている区域については、砂礫浜や干潟の面積を算定するため、両データとしてそれぞれ「砂礫浜」「干潟」の属性を与えた。但し植生記号が記入されている部分は「砂礫浜」には含んでいない。

海岸情報データは GIS を用いた他のデータとの統合的利用を前提として、標準地域メッシュ・2次メッシュ単位の ArcView・SHAPE ファイル形式で作成し、海岸線、砂礫浜・干潟の区分には表 2.1.2 に示すコードを付与している。田中ら（1993）<sup>2)</sup> は新・旧の地形図の標定をこの段階で実施し、デジタイザー・テーブルにより数値化を行っている。しかし、今回の調査ではコンピューターに取り込んだ地図画像から数値化する方法を採用したことから、新・旧の標定が必要な場合は GIS の機能を用いて行うこととした。

データの精度は小池(1974)<sup>3)</sup> によれば、測量制度、製図上の誤差等の地形図そのものが持つ誤差は数m以下のオーダーであるとし、誤差要因として最も大きいのは地形図の紙の伸縮であるとしている。今回の作業においては、計測基図をコンピューターに取り込んだ後、

図郭四隅の座標軸を元に正規化を行い、伸縮に伴う誤差を地形図全体に配分する方法を取った。また、計測時の許容誤差を図上1mm未満と設定していることから、2.5万分1地形を基図とした場合±25m、5万分1を基図とした場合±50m程度とした。

表 2.1.2 海岸の区分

大分類	小分類	コード
一般の海岸	砂礫浜海岸	10
	岩石海岸	20
	その他の海岸	70
崖付きの海岸	岩石海岸	31
	砂礫浜海岸	32
	その他の海岸	33
護岸	道路	41
	鉄道	42
	埋立地	43
	空港	44
	港湾	45
	その他	46
堤防	干拓地	51
	埋立地	52
	その他	53
海岸保全施設	堤防（陸部）	81
	護岸（陸部）	82
	突堤	83
	離岸堤	84
その他	防波堤	85
	河口部	60
砂礫浜・干潟	砂礫浜	90
	干潟	99

表 2.1.3 は、1903～1953 年、1953～1991 年について、一般の海岸、崖付きの海岸、護岸（陸部を含む）の海岸線延長の年平均変化量を都道府県別に示したものである。全国の砂礫浜海岸の延長は、1903～1953 年、1953～1991 年ともほぼ同じ速度で減少したものとした。中でも 1903～1953 年は北海道、兵庫県、愛媛県、愛知県で、1953～1991 年は青森県、山口県、新潟県北海道で砂礫浜延長の減少が著しかった。一方、全国の護岸（陸部を含む）の延長は、1903～1953 年に 37.2km/年で増加したが、1953～1991 年は 126.8km/年の増加とその傾向がより顕著になった。都道府県別に見ると、1953～1991 年は北海道、長崎県、愛媛県などで護岸（陸部を含む）の延長の増加が著しかった。なお、1953～1991 年における崖付き海岸の全国延長が著しい増加傾向という結果が出たが、現地踏査出来なかった崖付き海岸について、1950 年代後半に導入された写真測量により図化の精度が向上したことが大きく影響していたことが要因として考えられる。

表 2.1.4 は、1903～1953 年、1953～1991 年について、砂礫浜や干潟の変化面積の年平均量を都道府県別に示したものである。砂礫浜については、都道府県別に変化面積を海岸延

長で除した砂浜幅の平均変化量も示した。砂礫浜の面積変化には侵食・堆積によるもののほか、植生の侵入、土地の改変等によるものも含まれている。全国の砂礫浜の面積は、1903~1953年に $218.5 \times 10^4 \text{m}^2/\text{年}$ 、1953~1991年に $488.7 \times 10^4 \text{m}^2/\text{年}$ で減少し、砂礫浜の侵食傾向が激化していることが分かる。中でも、青森県、石川県、新潟県、静岡県などでは、1903~1953年に比べて1953~1991年の方が侵食面積が著しく増加している。砂浜幅の年平均変化量も、全国平均で1903~1953年に $0.5 \times 10^4 \text{m}^2/\text{年}/\text{m}$ 、1953~1991年に $1.1 \times 10^4 \text{m}^2/\text{年}/\text{m}$ の減少と、1953~1991年の方が減少傾向が顕著になっている。1953~1991年において砂浜幅の年平均変化量の減少が顕著なのは、千葉県、秋田県、静岡県、石川県、鳥取県などである。一方全国の干潟面積は、1903~1953年、1953~1991年とも約 $470 \times 10^4 \text{m}^2/\text{年}$ 減少している。都道府県別に見ると、1903~1953年は岡山県や熊本県などで、1953~1991年は千葉県や沖縄県などで干潟面積の減少が大きい。

侵食・体積の状況を詳細に把握するため、aからdまでの4つのモデル地区で把握した。即ち、図2.1.2~2.1.4に示すように、a) 鹿島灘沿岸（大洗港から波崎漁港間）、b) 九十九里沿岸（飯岡漁港から太東漁港間）、c) 新潟沿岸（三面川左岸から直江津港間）、d) 鳥取沿岸の皆生海岸（境港から淀江漁港間）をモデル地区とした。

比較は1903~1953年と、国土数値情報・沿岸域情報ファイルを昭和期（1980年）のデータとして用いて平成期データと比較した1980~1991年間で実施した。計測精度に基づき2.5万分1地形図同士での侵食・堆積面積の抽出は $625 \text{m}^2$ 以上、5万分1地形図同士の場合は $\pm 2,500 \text{m}^2$ 以上の変化区域を侵食・堆積区域として抽出するとともに、港湾施設の構築されている地域は集計対象から除外した。平均変化幅は（堆積面積－侵食面積）/期間/延長距離で求めた。正のとき堆積、負のとき侵食、0のとき近郊であることを示す。

各沿岸における平均変化幅を見たものが表2.1.5の通りである。

鹿島灘沿岸では1903~1953年は平均的には汀線が変化していなかったが、1980~1991年は平均で $1 \text{m}^2/\text{年}/\text{m}$ 汀線が前進している。また、九十九里沿岸では1903~1953年、1980~1991年とも、沿岸全体では汀線は若干前進している。宇多(1997)<sup>4)</sup>が示すように、鹿島灘沿岸と九十九里沿岸では港湾の周辺で汀線の顕著な前進及び後退が戦後生じているが、それらが防波堤の建設に伴う波の遮蔽域の形成や沿岸漂砂の遮断に起因する土砂の偏在によるものであることを今回の調査結果は改めて示している。

表 2.1.3 全国の海岸線の変化

	1903~1953						1953~1991					
	一般の海岸			崖付き の海岸 (km/年)	護岸 (陸部含む) (km/年)	堤防 (陸部含む) (km/年)	一般の海岸			崖付き の海岸 (km/年)	護岸 (陸部含む) (km/年)	堤防 (陸部含む) (km/年)
	砂礫浜 海岸 (km/年)	岩石 海岸 (km/年)	その他 の海岸 (km/年)				砂礫浜 海岸 (km/年)	岩石 海岸 (km/年)	その他 の海岸 (km/年)			
北海道*2	-4.3	-0.8	5.7	-3.1	2.9	0.0	-1.4	-0.1	-5.0	-0.6	13.2	0.1
青森県	-1.0	-0.1	0.4	0.1	0.7	-0.0	-3.7	-0.4	0.5	-0.0	5.4	0.0
岩手県	-0.5	-0.1	0.1	0.3	0.3	-0.0	-0.8	1.8	-0.0	0.6	1.9	0.0
宮城県	-0.3	0.0	0.1	0.1	0.3	-0.1	-0.5	-0.4	-0.9	0.1	3.2	0.0
秋田県	-0.1	-0.1	-0.0	0.0	0.2	0.0	-0.9	-0.3	-0.1	0.5	1.6	0.0
山形県	-0.1	-0.1	0.1	-0.0	0.2	0.0	-0.2	-0.0	-0.1	0.2	0.9	0.0
福島県	-0.1	0.0	0.0	-0.0	0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.4	1.1	0.0
茨城県	-0.1	0.1	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.4	-0.2	0.1	0.0	1.5	0.0
千葉県	-0.1	-0.2	0.0	-0.1	0.6	0.0	-0.7	0.3	-0.3	-0.4	5.9	-1.2
東京都	0.1	-0.4	0.0	-0.1	0.8	-0.1	0.6	1.6	0.1	-0.6	2.3	-0.3
神奈川県	-0.4	-0.4	-0.0	-0.1	1.7	-0.3	0.2	0.2	-0.5	-0.5	2.6	0.0
新潟県	-0.6	0.0	0.1	-0.1	0.6	0.0	-1.5	-0.7	0.1	0.7	3.5	0.0
富山県	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.2	-0.0	-0.6	-0.0	-0.1	0.1	1.4	-0.0
石川県	-0.1	-0.3	0.0	-0.3	0.4	0.1	-0.9	0.3	-2.0	-0.3	4.3	-0.3
福井県	-0.5	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	-0.8	-0.3	-0.4	-0.0	2.8	0.0
静岡県	-0.7	0.1	-0.1	-0.0	0.7	0.0	-0.6	-0.8	-0.4	1.1	2.7	0.0
愛知県	-1.3	0.0	0.2	0.0	1.3	0.2	-0.4	-0.4	-0.5	-0.8	6.2	-1.7
三重県	-0.5	-0.1	-1.8	1.8	1.0	-0.3	-0.2	-0.5	-0.6	-0.4	3.6	-0.2
京都府	-0.0	-0.1	-0.3	-0.1	0.4	0.0	-0.6	-0.5	-1.0	1.2	1.6	-0.0
大阪府	-0.2	-0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	-0.6	0.0	-0.2	-0.1	4.9	-0.2
兵庫県	-1.5	-0.2	0.1	0.5	1.3	-0.1	-0.7	-0.2	-0.5	-0.3	6.9	-0.4
和歌山県	-0.4	-0.3	0.1	-0.1	0.5	-0.1	-0.4	-1.0	-0.1	0.9	3.0	-0.1
鳥取県	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.5	0.2	-0.1	0.2	0.9	0.0
島根県	-0.2	0.3	-0.7	0.1	0.4	0.1	0.1	-1.8	-0.5	2.8	2.2	-0.1
岡山県	-0.2	-0.1	-0.6	-0.0	1.1	-0.7	-0.6	-0.3	-0.9	-0.9	3.2	-0.7
広島県	-0.8	-0.0	0.0	-0.3	2.3	-0.8	0.2	-2.1	-3.2	-1.0	7.9	-0.9
山口県	-0.6	-0.2	0.1	-0.2	2.0	-0.3	-1.6	-3.1	-2.4	2.8	7.5	-0.7
徳島県	0.1	-0.1	-0.3	-0.0	0.3	0.1	-0.2	-1.0	-0.3	0.6	1.7	-0.2
香川県	-0.5	0.0	0.1	-0.0	0.5	-0.2	-0.9	-0.5	-2.1	0.6	5.6	-0.7
愛媛県	-1.4	-1.3	-0.9	0.7	3.3	0.0	-0.7	-4.9	-4.3	3.5	10.0	-0.8
高知県	-0.4	-0.2	-0.3	-0.0	0.8	-0.1	0.5	-2.5	-0.9	2.8	2.5	-0.1
福岡県	-0.5	-0.6	-0.0	-0.2	2.0	-0.1	-0.1	-0.5	-0.8	0.3	3.0	0.6
佐賀県	0.0	0.9	-1.2	-0.5	1.4	-0.5	-0.3	-0.7	-0.1	0.1	0.3	0.7
長崎県	-0.3	-1.8	-4.1	0.4	5.2	-0.7	0.7	-7.3	-6.0	6.3	12.9	0.0
熊本県	-0.2	-0.1	-0.5	0.0	0.6	-0.0	-0.5	0.4	-7.8	0.7	9.0	0.1
大分県	-0.6	-0.7	-1.0	0.7	1.5	0.0	-0.6	-1.1	-2.1	1.0	1.2	0.0
宮崎県	-0.1	0.1	-0.5	0.1	0.4	0.0	-0.3	-0.6	-0.3	1.0	1.2	0.0
鹿児島県	-0.2	-0.1	-0.1	3.4	0.4	0.0	-0.8	-1.1	-1.4	2.9	8.6	0.3
沖縄県	-0.1	-0.7	1.7	-0.2	0.3	0.1	2.4	-3.0	-3.5	3.3	5.8	0.1
全国	-18.5	-7.4	-3.4	2.8	37.2	-3.8	-18.7	-31.5	-48.7	27.9	126.8	-4.3
全国平均	-0.5	-0.2	-0.1	0.1	1.0	-0.1	-0.5	-0.8	-1.2	0.7	3.3	-0.1

\*2: 北方四島を含む

表 2.1.4 全国の砂礫浜・干潟面積の変化

	砂礫浜の 変化面積		砂礫浜の 平均変化幅		干潟の 変化面積	
	1903～ 1953	1953～ 1991	1903～ 1953	1953～ 1991	1903～ 1953	1953～ 1991
	(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> / 年)	(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> / 年)	(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> / 年/m)	(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> / 年/m)	(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> / 年)	(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> / 年)
北海道	-61.0	-65.0	-0.32	-0.38	-7.8	1.8
青森県	-10.2	-56.4	-0.26	-1.62	-3.7	2.5
岩手県	-1.1	-4.9	-0.04	-0.26	0.0	0.2
宮城県	-3.3	-12.9	-0.11	-0.46	-2.4	1.4
秋田県	-1.9	-18.9	-0.59	-4.82	0.0	0.0
山形県	-0.8	-12.9	-0.03	-0.58	0.0	0.0
福島県	-1.1	-8.1	-0.09	-0.75	0.0	0.0
茨城県	-2.2	-21.5	-0.14	-1.33	0.0	0.0
千葉県	-12.8	-24.4	-2.67	-5.38	-55.7	-129.7
東京都	1.9	5.3	0.05	0.13	-13.9	-16.3
神奈川県	-5.5	-3.4	-0.55	-0.33	-19.9	18.8
新潟県	-6.2	-33.7	-0.42	-2.34	0.0	0.0
富山県	-0.7	-8.6	-0.04	-0.64	0.0	0.0
石川県	-6.4	-40.6	-0.50	-3.55	0.0	0.0
福井県	-6.6	-7.9	-0.79	-1.02	0.0	0.2
静岡県	-15.7	-43.0	-1.29	-4.51	0.0	4.3
愛知県	-8.4	-16.4	-0.73	-1.46	-18.0	-2.0
三重県	-4.5	-9.1	-0.25	-0.80	-9.4	-8.7
京都府	-1.1	-6.8	-0.09	-0.93	0.0	0.0
大阪府	-1.8	-3.3	-0.12	-0.26	-3.2	-0.0
兵庫県	-5.2	-3.1	-0.50	-0.33	-9.2	-4.9
和歌山県	-2.8	-4.1	-0.15	-0.24	-1.8	-3.1
鳥取県	-12.0	-21.8	-1.60	-3.17	0.0	0.2
島根県	-4.5	-3.3	-0.16	-0.13	0.0	0.0
岡山県	-2.1	-0.6	-0.39	-0.14	-84.6	-37.5
広島県	-2.9	-1.2	-0.19	-0.10	-21.3	-0.5
山口県	-3.5	-6.7	-0.78	-2.04	-20.4	-6.8
徳島県	0.4	-2.7	0.03	-0.20	-1.3	0.6
香川県	-3.0	-5.2	-0.39	-0.82	-7.5	-5.9
愛媛県	-6.0	-5.9	-0.32	-0.36	-9.5	-18.8
高知県	-4.0	0.3	-1.74	0.12	-0.2	-1.8
福岡県	-7.6	-3.4	-1.17	-0.53	-41.4	-49.2
佐賀県	-1.4	-0.9	-0.11	-0.09	-48.0	-10.7
長崎県	-2.4	8.9	-0.05	0.18	-10.8	10.2
熊本県	-3.3	0.5	-0.20	0.03	-70.3	-32.6
大分県	-1.6	-5.8	-0.19	-0.66	3.6	-9.1
宮崎県	-1.8	-12.4	-0.10	-0.73	-3.7	-11.6
鹿児島県	-2.8	-17.1	-0.36	-2.96	-6.3	-28.3
沖縄県	-2.4	-11.7	-0.20	-1.21	-9.3	-95.7
全国	-218.5	-488.7	-0.28	-0.70	-476.0	-473.2
全国平均	-5.6	-12.5	-0.5	-1.1	-12.3	-12.1

新潟沿岸では、1903~1953年は平均的には汀線は変化していなかったが、1980~1991年には汀線が若干後退している。1903~1953年の地形変化に大きな影響を及ぼすものとしては、大河津分水路の建設がある。斎藤(1992)<sup>5)</sup>によれば、大河津分水路河口周辺の海岸では、1911~1948年に砂礫浜の面積が $170 \times 10^4 \text{m}^2$ 増加している。一方、建設省北陸地方建設局(1988)<sup>6)</sup>によれば、信濃川河口付近の海岸では1889~1947年に最大350mの汀線後退があった。このように、信濃川から供給される土砂の供給先が移動したにも拘わらず、新潟沿岸全体を平均化すると河川から海岸に供給される土砂量の変化はほとんどなかったことになる。近年の新潟沿岸の地形変化については、泉宮・砂子(1994)<sup>7)</sup>により三面川河口~新潟東港間の海岸侵食が、宇多(1997)により直江津港周辺の海底地形の変化が明らかにされている。これらのことから、1980~1991年の新潟沿岸について侵食傾向になっているものと考えられる。

皆生海岸では、1903~1953年は平均的には汀線は後退していた。1980~1991年は弓ヶ浜の西側地区では汀線が後退傾向のままであるが、皆生温泉地区では若干前進している。1971年に海岸保全対策として着手された日野川河口周辺を中心とした離岸堤の整備が近年の汀線の安定に寄与しているものと考えられる。

以上のことから、海岸情報データを用いた海岸線変化の抽出により、全国の砂礫浜海岸において侵食が進んでいることが分かった。また合わせて、モデル的に実施した侵食・堆積の抽出により、海岸線の変化の傾向を科学的に分析することが出来た。

表 2.1.5 各沿岸の平均変化幅

時期	地区	延長 (m)	侵食 ( $\text{m}^2$ )	堆積 ( $\text{m}^2$ )	平均変化幅 ( $\text{m}^2/\text{年}/\text{m}$ )
1903 } 1953	a)	56,258	826,357	569,094	-0.09
	b)	55,019	399,066	912,889	0.09
	c)	148,440	2,265,210	2,138,431	-0.02
	d)	18,230	698,898	0	-0.77
1980 } 1991	a)	56,673	57,443	684,679	1.01
	b)	56,604	190,415	315,094	0.20
	c)	151,431	1,116,612	581,221	-0.32
	d)	19,129	61,912	133,379	0.34

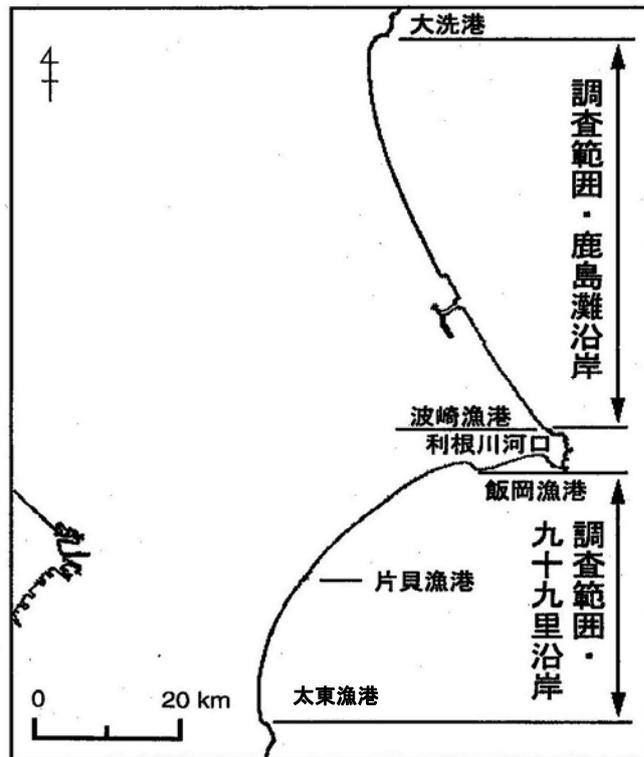


図 2.1.2 鹿島灘沿岸・九十九里沿岸の調査範囲

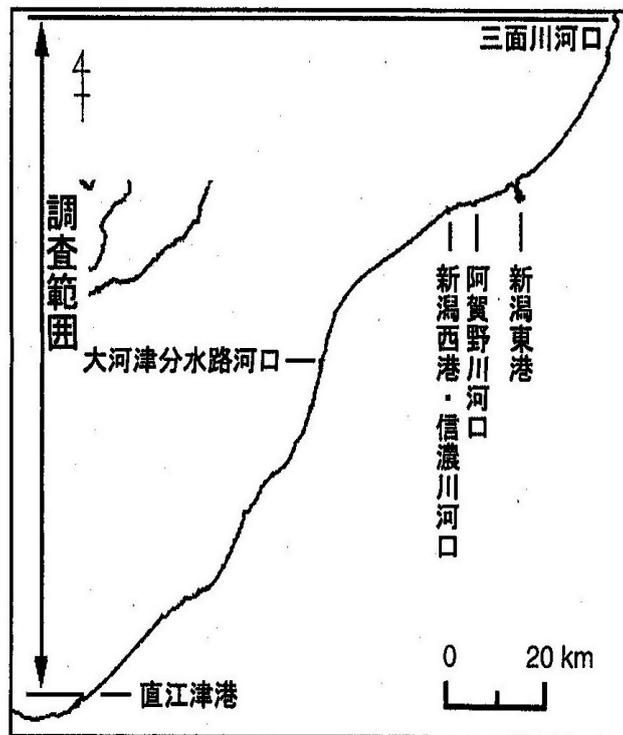


図 2.1.3 新潟沿岸の調査範囲

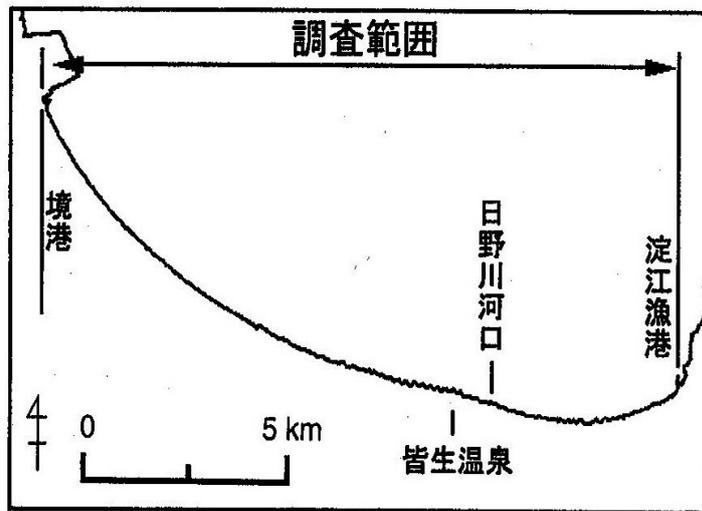


図 2.1.4 鳥取・皆生海岸の調査範囲

(参考文献)

- 1) 岸田弘之・清水雅行：海岸情報調査による海岸侵食・堆積の抽出，海岸工学論文集，第 47 巻，pp.681~685，2000.
- 2) 田中茂信・小荒井衛・深沢満：地形図の比較による全国の海岸線変化，海岸工学論文集，第 40 巻，pp.416~420，1993.
- 3) 小池一之：砂浜海岸線の変化について（予報），地理学評論，47-11，pp.719~725，1974.
- 4) 宇多高明：日本の海岸侵食，442p，1997.
- 5) 斉藤正勝：大河津分水による治水対策（Ⅱ），水利科学，No.207，pp.67~100，1992.
- 6) 建設省北陸地方建設局信濃川下流工事事務所：新潟海岸の侵食と保全，29p，1988.
- 7) 泉宮尊司・砂子浩：新潟北東部海岸の広域的海岸侵食の総合的原因，海岸工学論文集，第 41 巻，pp.531~535，1994.

## 2.2 河川からの供給土砂量の変化

第1節の分析で海岸線の変化、とりわけ海岸侵食が全国的に進行していることが分かったが、海岸侵食の要因としては地域の置かれている状況に応じて様々なものが考えられる。

宇多(1997)<sup>1)</sup>は、日本の海岸侵食について詳細なデータに基づき述べており、砂浜海岸の侵食の全国実態を機構別に分類し、表2.2.1にまとめている。対象海岸は図2.2.1の通りである。本表によると、沿岸漂砂の連続性の阻止と供給土砂量の減少が海岸侵食の原因である海岸が多く、また波の遮蔽域形成に伴う周辺海岸での侵食もかなり目立っていることが分かる。さらに複数の要因がある海岸も多く、時間の経過と共に侵食状況が次第に深刻化し、複雑化していくことが考えられる。

表 2.2.1 侵食機構の分類 (宇多、1997)

番号	海岸名	侵食機構					地盤沈下
		沿岸漂砂の連続性の阻止	遮蔽域の形成	溪海への土砂損失	供給土砂量の減少	浚渫・砂利採取	
1	標津海岸	○			○	○	
2	日高海岸	○				○	
3	胆振海岸	○			○		
4	青森海岸	○					
5	三沢海岸	○	○		○		
6	大曲海岸	○	○			○	
7	仙台湾沿岸	○			○		
8	神岡上海岸		○			○	
9	大洗海岸		○			○	
10	鹿島灘沿岸	○	○			○	
11	飯岡・下永井海岸	○			○		
12	九十九里海岸	○			○		
13	湘南海岸				○	○	
14	西湘海岸	○		○	○		
15	富士海岸	○		○	○		
16	蒲原海岸	○		○	○		
17	清水海岸	○		○	○		
18	静岡海岸				○		
19	駿河海岸	○		○	○	○	
20	遠州海岸	○	○		○		
21	赤羽根海岸	○					
22	伊勢湾沿岸	○			○		
23	御座海岸		○				
24	七里御浜海岸	○					
25	西浜沿岸	○					
26	高知海岸	○			○	○	
27	黒島海岸		○				
28	宮崎海岸		○			○	
29	江津海岸		○			○	
30	皆生海岸	○			○		
31	鳥取海岸		○			○	
32	石川海岸				○		
33	下新川海岸	○		○	○		
34	市振海岸	○				○	
35	親不知海岸	○				○	
36	糸魚川海岸		○				
37	直江津海岸		○				
38	大湯海岸		○			○	
39	松ヶ崎海岸		○				
40	新潟海岸	○			○		○
41	神林海岸	○	○			○	

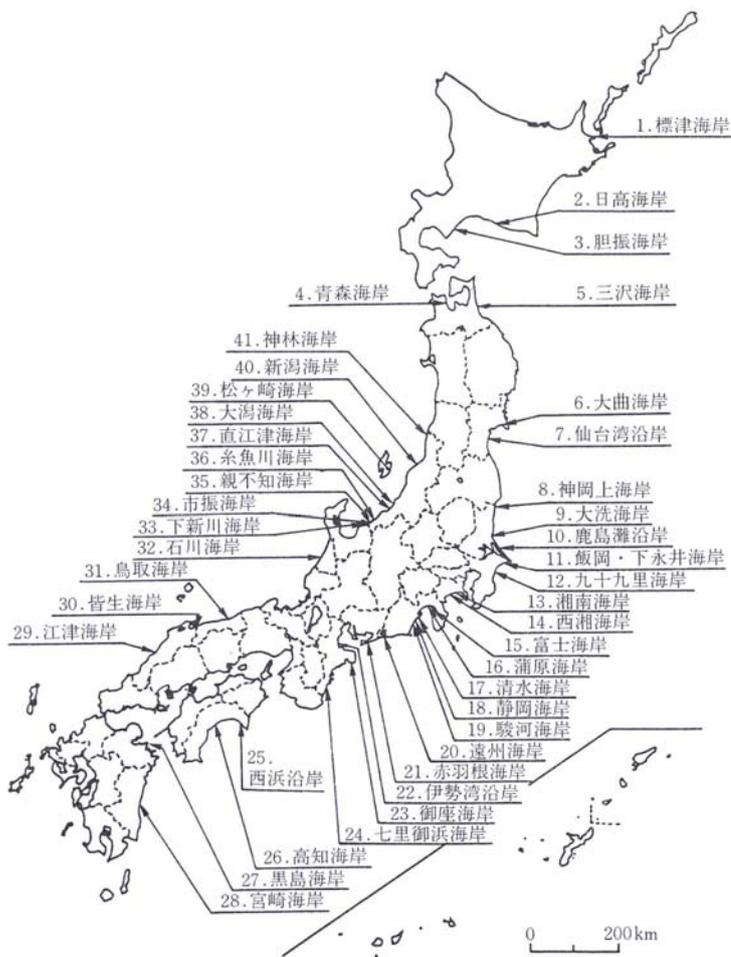


図 2.2.1 侵食海岸の位置 (宇多、1997)

そのためこうした海岸での侵食に対応するためには、単に侵食が生じている区域のみの保全ではなく、広域的かつ長期的な立場から問題の解決を図っていくことが必要である。

ここでは、一つ目の視点として、河川から海岸に供給される土砂量に変化してしまったことについて、現地における著者の経験も交えながら整理したい。

安全な国土管理のために実施された河川構造物等や骨材利用のための砂利採取によって河川から供給される土砂が大幅に減少して海岸侵食を引き起こしたり、大規模な放水路により河川からの土砂が大幅に供給され海岸線の前進による土地の拡大が現れたことについて触れていきたい。

磯部(1998)<sup>2)</sup>は、安部川と静岡・清水海岸との関係について、河川からの供給土砂と海岸線の変化について分析している。静岡・清水海岸は、西南端が静岡県の安部川河口左岸であり、東北端が三保松原の砂嘴である。約 6,000 年前の縄文海進期以後の海退と同時に、主に安部川からの供給土砂が沿岸に沿って三保の松原の方向に運搬され、堆積することによって海岸地形が形成されてきたと考えられる。三保の松原先端に見られる砂嘴の前面には深い海谷があり、土砂はここへ流出する。10 年程度の時間スケールで見れば、安倍川か

らの供給土砂がこの海岸に沿って移動し、三保の松原前面の海谷に流出することにより、海岸地形の平衡が保たれることになる。これによりかつて静岡海岸は 70m以上の砂浜を持つ自然海岸であったが、昭和 40 年代に入ると静岡海岸に海岸侵食の傾向が現れはじめ、現在では三保の松原まで侵食が進行し、深刻な問題となっていた。ところが近年安倍川河口の左岸では堆積に転じている。安倍川からの土砂供給との関係で見ることとする。

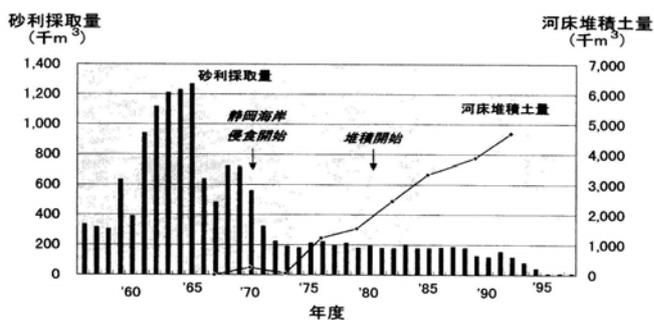


図 2.2.2 安倍川における土砂採取と河床堆積土量の変遷(磯部、1998)

図 2.2.2 によれば、1956 年から 1970 年にかけて安倍川では多量の土砂採取が行われ、特に 1961 年から 1965 年には年間 100 万  $m^3$  を超えている。その結果として河床は低下し、海岸への土砂供給量は殆どなくなったものと推察される。その後、土砂採取を制限したために 1970 年代からは河床が上昇し、河口から 22.7km までの国の直轄管理区間における河床での堆積土砂量は、この図面の折れ線グラフに示されているように、約 25 万  $m^3$ /年で増加している様子が分かる。

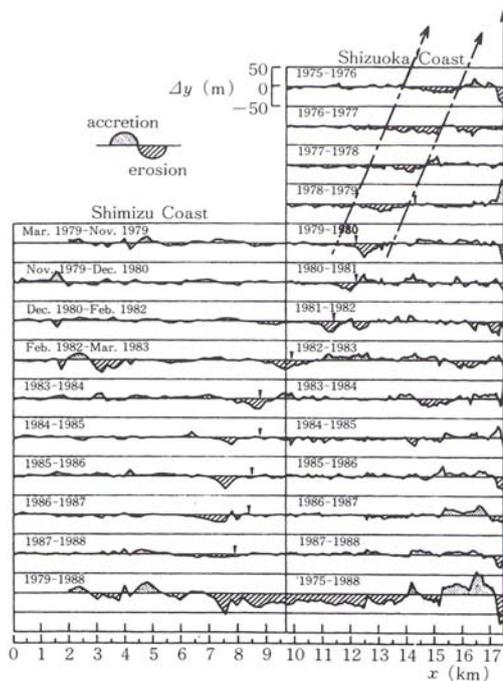


図 2.2.3 静岡・清水海岸の海岸線変化の変遷 (宇多、1997)

図 2.2.3 は 1975 年から 1988 年までの 1 年ごとの海岸線の変化量を示しているが、図中の上部に矢印で示すように河口から東側への海岸侵食の伝播が起こっている。この伝播速度は約 500m/年であり、これから河口部で侵食が始まった年を推定すると 1970 年前後となる。これは安倍川で多量に土砂採取が行われていた時期の最後で、河床が最低の位置にあった時期に一致する。その後の注目すべき現象は 1980 年頃に河口部から始まった堆積傾向であり、図の中段からの状況で把握される。この開始時期は、図 2.2.2 による土砂採取制限と河床堆積土量の増加開始に対して 10 年近く遅れているものの、河床の上昇と共に増加した、安倍川からの供給土砂の増加によって起こったものであることは明らかである、とされている。

これらは、河川と海岸との関係を示している非常に明確な分析であり、河川からの供給土砂により成立した海岸では、河川からの供給土砂量の増減によって敏感に海岸線が影響を受けることが分かる。

次に本章第 1 節における海岸情報による分析で、信濃川における大河津分水路河口部では河川からの供給土砂により、大きな堆積が生じていることが分かった。

このことについて現地の地形状況から見てみると、渡部(1982)<sup>3)</sup>の「郷土の史」は大河津分水路の歴史について詳細に述べられているもので、これによれば大河津分水路河口部の地形変化についても触れられている。

即ち、大河津分水路河口部の三島郡寺泊町寺泊地先及び同野積地先の海岸は約 600 万 m<sup>3</sup> に及ぶ土砂が毎年のように河口から海岸へ補給され、そのうちの約 205 万 m<sup>3</sup> が海岸に堆積すると言われており、この海岸が目に見えて砂丘が出来てきたのは 1930(昭和 6)年頃からだったようである。この自然に造成された土地は図 2.2.4 のように、河口右岸の野積側海岸は延長約 4km、幅は約 600m、面積は約 160ha もあり、河口左岸の寺泊海岸は延長約 3km、幅は最大約 500m、面積約 140ha もあり、両岸合わせての面積は合計約 300ha に及ぶ大海浜地帯を形成している。写真 2.2.1 は周辺海岸線の全景を見たものである。第 1 章第 1 節第 1 項(4)でも論じてきたように、野積地区には開田計画が進められ、現在では 80ha の耕地が広がっているが、後述する保安林との関係でも特徴的な地区である。寺泊地区には道路、寺泊港などがあり発展している。

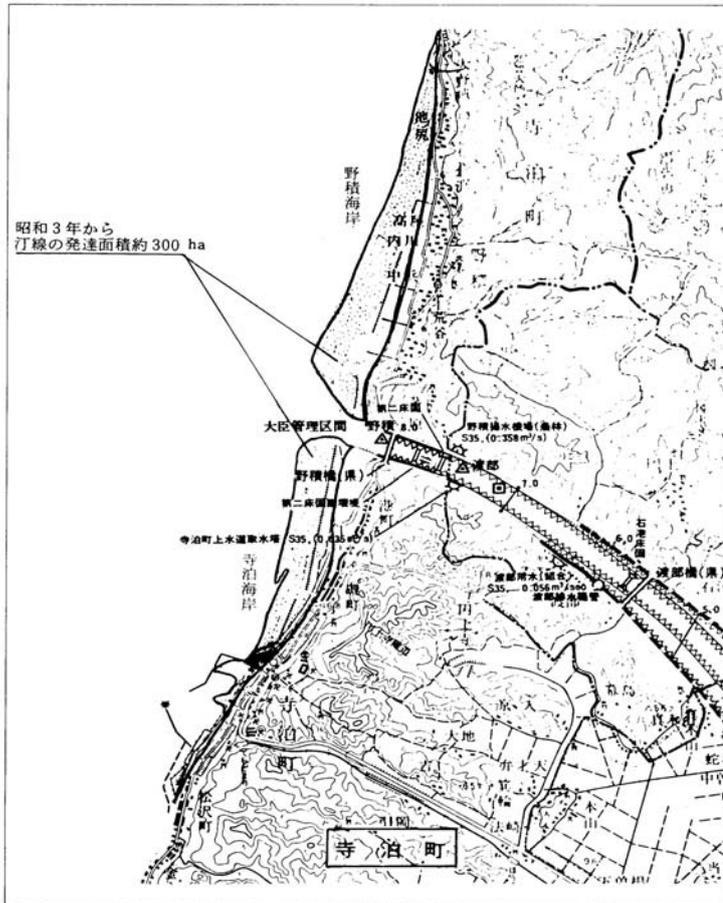


図 2.2.4 大河津分水路通水後海岸に堆積して出来た土地 (渡部、1982)



写真 2.2.1 寺泊港から弥彦山裾にかけての海岸線全景(渡部、1982)

信濃川においては大河津分水路より上流 15km~22km にかけて、長岡市を中心にした地区において、上流部で生産される土砂が多いことを利用して、低水路河道計画が行われて

おり、これが河川事業と河川における土砂供給との関係を明確に示している例なので取り上げる。

斎藤・岸田ら（1988）<sup>4)</sup>は、信濃川中流部を取り上げ、信濃川が毎年確実に融雪出水による低水路満杯程度の流量が発生し、かつ、土砂の流送が多い河川であることに着目し、全体の河道が複断面となるように河道の自然の力を利用して、新しい低水路を造成するような低水路河道計画を策定して、現地において施工後、現地観測をして模型実験と対比して、対策工の効果について考察している。この論文では、第1節と第2節前半で論じたように、大河津分水路河口の野積海岸の砂の堆積状況や新潟西海岸での侵食の状況、また安倍川での河川と海岸との関係を著者として十分に理解していたため、海岸への砂の供給が洪水により生起されることが多いことを考え、河道掘削を積極的に用いた低水路河道のように下流に影響の出る対策ではなく、流砂の連続性を維持する対策を提案した事例である。

この報告によれば、低水路法線について次のような検討を経て最終法線が決定されている。

- ① 最深河床位置の変遷（図 2.2.5）から、最近の 10 年間ではその主流線の位置は殆ど変化していない。水衝部である 18km 付近の右岸の流路も固定されており、ここでは低水路を可能な限り河道中央に移動させることとして流心線をもとに一次案が決定された。
- ② 新低水路の河道の安定性を調べるために移動床の模型実験が行われ、種々の検討を経て図 2.2.6 のように最終案が設定された。この案は低水路を 400m に拡大したこと、21km 付近右岸の水衝部を固定する目的で法線形状を可能な限り湾曲させたものである。
- ③ 最終案は、低水路内の流れがスムーズになり、高水敷の荒廃は著しく軽減されたことと、長時間通水(4,000m<sup>3</sup>/s)において水衝部における Bar の移動が余りないことが認められた。最終案と 1973(昭和 48)年の河道を比較すると図 2.2.7 のようであり、当時の水衝部を締め切って高水敷の造成を行うことになるため、施工は護岸による整備、低水路の掘削、導流水制による自然堆積を利用して実施することになり、その構造や施工順序についても模型実験によって検討された。

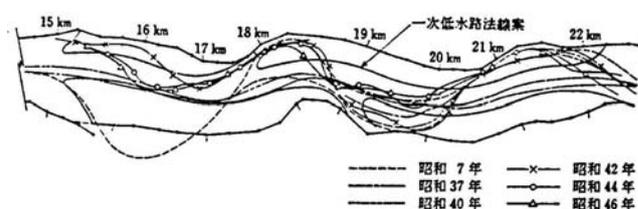


図 2.2.5 最深河床変遷及び低水路法線

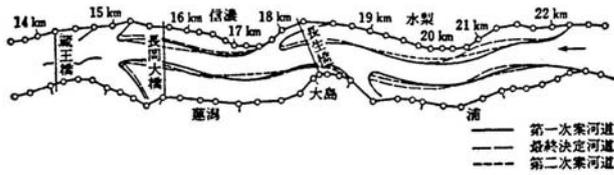


図 2.2.6 長岡地区低水路法線

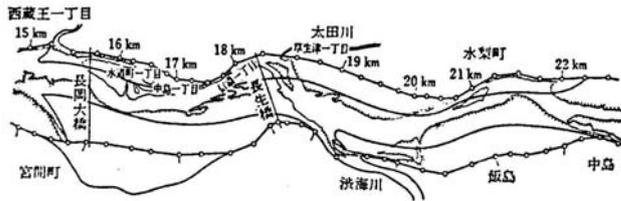


図 2.2.7 長岡地区河道計画平面図

施工にあたっては、模型実験に加えて種々の検討をして、施工による影響を予測し、その保護を行ってから水衝部の施工を行うという方法を取る必要があり、施工順序の検討にあたっては、①水衝部の位置と範囲 ②水衝部施工後の影響 ③水衝部の施工法 の点の解明に目的をおいて、図 2.2.8 のように区間全体の施工順序をまとめた。

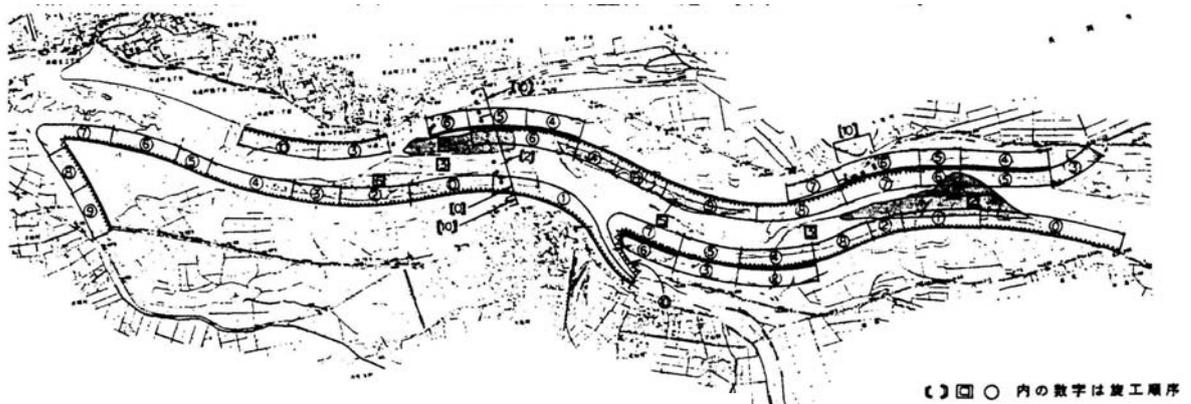


図 2.2.8 河道計画施工順序検討結果

本格的な工事は 1975(昭和 50)年から実施しており、施工の変遷と位置を図 2.2.9 に示した。1988 (昭和 63) 年までの整備率は表 2.2.2 に示すように、全体として 60%の進捗となっている。

表 2.2.2 事業進捗状況表 (1985 (昭和 60) 年現在)

地区	種別	全体計画	完成	進捗率 (%)					
				0	20	40	60	80	100
A地区	湛液堤	2.3 km	1.33km						
	護岸	1.9 km	0.5 km						
	水制	8 基	8 基						
B地区	湛液堤	0.7 km	0.19km						
	護岸	2.5 km	2.5 km						
C地区	護岸	2.5 km	0.62km						
D地区	護岸	4.2 km	2.78km						
	長生橋欄柵補強	8 基	8 基						
	湛液堤・護岸合計	14.1 km	7.91km						

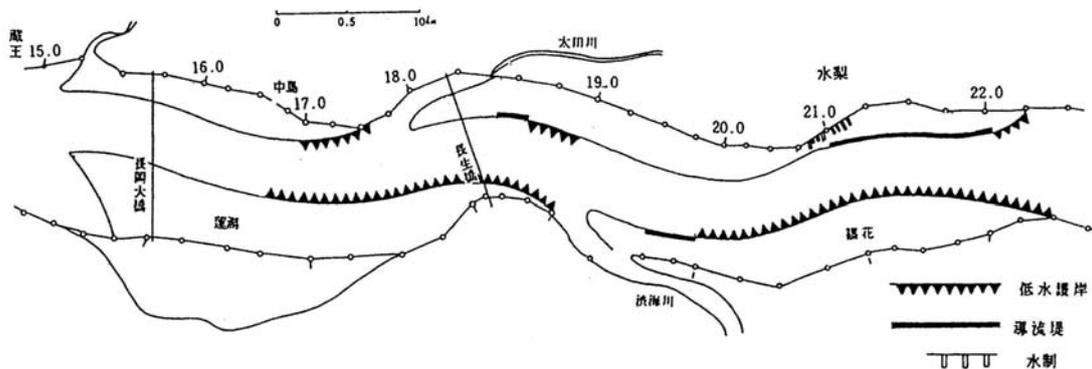


図 2.2.9 長岡地区河道計画施工進捗状況図

長岡地区の河道形成に支配的役割を果たす河道の主な流況は表 2.2.3 の通りであり、図 2.2.10 に示すように年総量の大きな変化はみられないが、主要高水のピーク流量の発生状況を見ると 1981(昭和 56)年以降(1984(昭和 59)年は融雪洪水)に  $4,000\text{m}^3/\text{s}$  以上の大洪水が連続して発生していることが分かる。

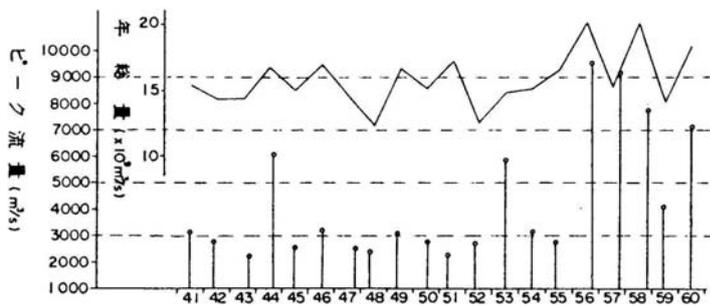


図 2.2.10 小千谷地点流量経年変化

表 2.2.3 小千谷地点の平均流況

年間総水流量	$16.400 \times 10^6 \text{ m}^3$
豊水流量	$587 \text{ m}^3/\text{s}$
平水流量	$388 \text{ m}^3/\text{s}$
低水流量	$296 \text{ m}^3/\text{s}$

※ (S.50~60平均)

長岡地区河道計画の主要対策工は、①導流堤、②低水路護岸、③低水路掘削であり、この他改修の影響を考慮して、橋梁の根継ぎ等が先行して実施されている。低水路護岸が導流堤工事に対応して先行着手され、導流堤の影響による河岸侵食防止の効果を発揮している。掘削工事は、導流堤・護岸の諸工事に対応して必要な程度実施されている。各所の低水路工事は各々その役割はあるが、主体的対処は導流堤工事で有るので、その代表箇所として水梨地区導流堤(右岸 21~22.5km)を取り上げ、その効果を見る。

- ① 1976(昭和 51)年度の工事により、水梨地区右岸派流が遮断されて以来 60%の進捗率になっている。
- ② 1981(昭和 56)年までは直上流の河道が典型的な複列砂州の河床形態を示し、本地

区に流入する主流路も河道中央から流入している。しかし 1982（昭和 57）年には約 2km 上流の越路橋付近の砂礫堆の発達と相まって、この地区でも右岸を凸とする大きな砂礫堆が発達し、1983（昭和 58）年には水梨導流堤の前面に砂礫堆が発達してきた。

- ③ 写真 2.2.2、2.2.3 で比較して見ると分かるように、導流堤の背後には土砂が堆積し、1985（昭和 60）年には本地区の水衝部は解消されており、図 2.2.11 に示すように 2～4m の土砂の堆積がある。
- ④ 一方、導流堤前面の砂堆の発達により、主流路が左岸低水路護岸に沿って流れ、局所洗掘を惹起し、1984（昭和 59）年には、低水護岸の欠壊を招いている。そのため、1984（昭和 59）年に低水路中央部の砂堆の掘削を実施している。

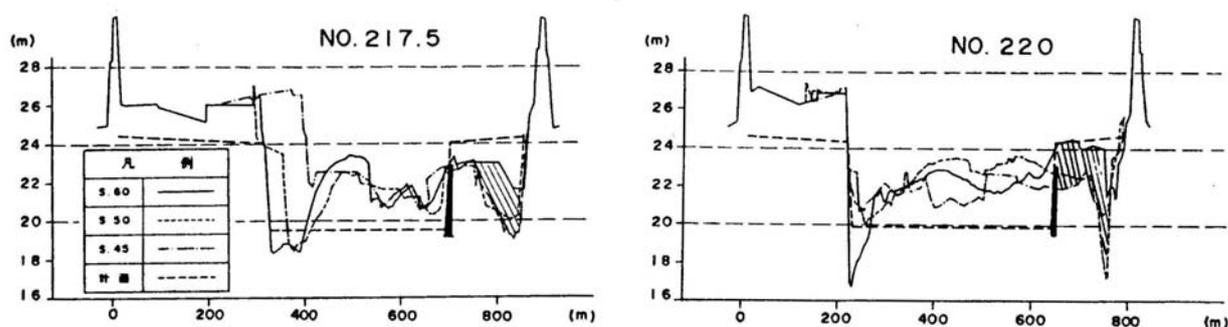


図 2.2.11 水梨地区導流堤付近経年横断変化図 (▨: 導流堤による堆砂)

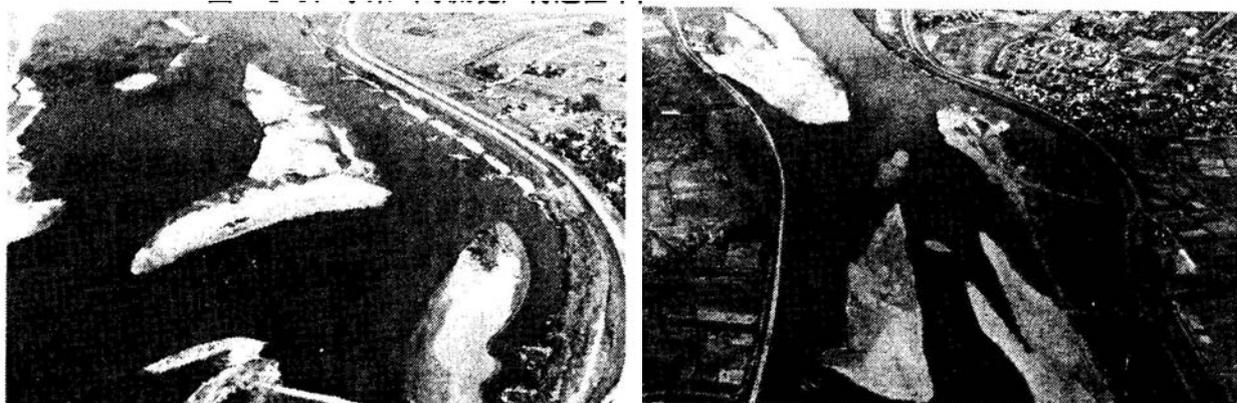


写真 2.2.2 水梨地区（昭和 52 年 10 月撮影） 写真 2.2.3 水梨地区（昭和 60 年 10 月撮影）

また現地の施工は、模型実験により決定された低水路法線に従い、施工順序についても相対的に大きな違いのない形で進められており、その効果について見ると、導流堤の進捗に伴い、河川の流れを利用して土砂を堆積させ、水衝部の解消と高水敷の造成を図るといった効果が着実に現れ、概ね模型実験の通りの結果となっていることが分かった。その結果、当初考えたようにこうした河川においては、ここで取られたような対策工が効果的である

ことが分かった。

このように、河川から供給される土砂は中流部での治水対策として有効に機能される場合もあり、さらに河川からの供給される土砂が河口部で堆積し、海岸が沖合に延びる場合もある。一方河川から供給される土砂が減少する場合は海岸侵食となり、増大する場合は海岸堆積となって現れることも自明の理である。しかし、長岡地区での低水路河道計画の特徴は、細粒分を含んだ融雪洪水を利用して低水路河道計画を策定した点である。則ち、海岸侵食や海岸堆積に最も関係するのは洪水による移動であることが多く、その点長岡地区での低水路河道計画は、長岡地区での流砂の制御において野積海岸への供給土砂量が重要であるとの観点であることも念頭に置いて計画が立てられたと認識している。

次に、人為的な行為によって海岸の砂浜の場そのものが減少し、それがトリガー的になってしまって海岸侵食に結びつく場合として、保安林の過剰な前進に伴って海浜地が喪失してしまう事例を見る。

第1章でも見たように、戦後日本の国土の荒廃に伴い、海岸線付近の土地も同様であり、海岸砂丘が発達して家屋や耕作地が砂に埋められるという被害が続出した。このため戦後急速に植林が進められ、飛砂防備保安林（保安林）等の整備が進んできた。保安林の整備そのものは森林法に基づいて行われ、それによって飛砂や塩害が減少したという効果は認められるものの、かなりの多くの場所では海岸線近傍まで過剰に保安林が前進した結果、それがトリガー的になってしまって海岸侵食による汀線後退が生じて、その際に緩衝帯の喪失を招き、それが海岸の人工化を招き、海岸の喪失につながるという負のサイクルに陥っている事例が見られる。

宇多(2004)<sup>5)</sup>によれば、新潟県の中村浜、千葉県九十九里浜の野手海岸と一宮海岸、及び房総半島先端に位置する平砂浦における、保安林の過剰な前進に伴って海岸侵食は生じる例を示している。

これらの海岸で共通して見られるのは、荒廃した海浜地に森林法に基づく飛砂防備保安林が整備され、この整備が海岸線近傍まで過剰に行われた上に、その保安林(松林)を飛砂や飛塩から防護するために土堤が造られ、その後さらにこの土堤の海側を波浪から防護するために護岸が建設されたことが、海岸が有する緩衝帯の喪失を招き、海岸侵食や高潮災害を受けやすい体質へと変えてしまったことである(図 2.2.12 参照)。

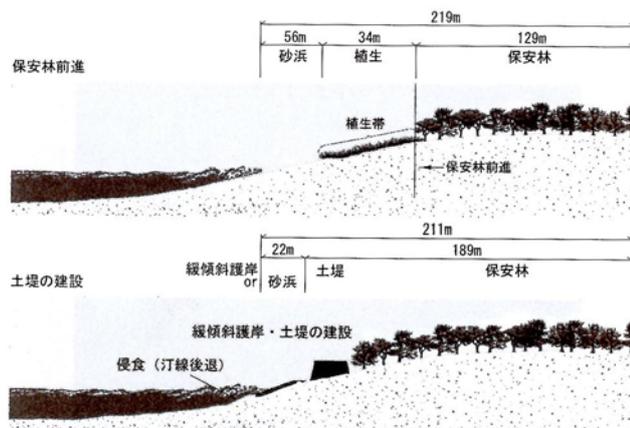


図 2.2.12 保安林の前進状況の模式図  
(宇多、2004)

一連の工事は、海岸線付近における緩衝帯の喪失を招くと同時に、本来後浜から背丈の低い植生帯を経て高木に至る微妙な環境に置かれ、それがゆえに多くの動植物の生息・生育としてなくてはならない空間の喪失を招く原因となったといえる（図 2.2.13 参照）<sup>6)</sup>。また保安林は、背後地が比較的開発の進んでいない地方の自然豊かな海浜地に存在することが多く、自然豊かな場所ほど人工海岸化が進み、コンクリートに覆われたような海岸が多くなってしまいうという逆説的な結果をもたらすことになってしまうのである。

保安林の整備は森林法に基づくものであるが、森林法に基づく国土管理では「保安林」の適切な保護にのみが主眼に置かれ、隣接する海岸への配慮が不十分なことが多い。また海岸の環境や利用というものに対する配慮の考え方も必要になってくる。

こうした海岸では、このような状況が続く限りますます海浜地の喪失が深刻化せざるを得ないと考えられる。

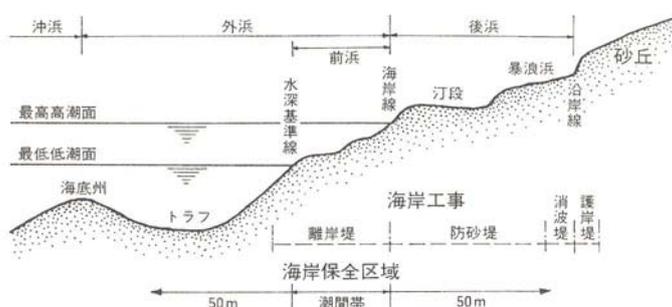


図 2.2.13 砂浜海岸の縦断面模式図（立石、1989）

(参考文献)

- 1) 宇多高明：日本の海岸侵食，山海堂，442p，1997.
- 2) 磯部雅彦：海岸環境と流砂系土砂管理，（社）日本河川協会，河川 11月号，pp.24～p.31，1998.
- 3) 渡部武男：郷土の史—信濃川大河津分水にまつわる話，（社）北陸建設協会，196p，1982.
- 4) 斉藤正勝・岸田弘之・南雲克彦：信濃川長岡地区の低水路河道計画と対策工の効果について，第 32 回水理講演会論文集，pp.359～364，1988.
- 5) 宇多高明：海岸侵食の実態と解決策，山海堂，304p，2004.
- 6) 立石友男：海岸砂丘の変貌，大明堂，214p，1989.

## 2.3 沿岸域の砂の流れの変化と砂浜確保の試み

### 2.3.1 沿岸漂砂の流れの変化

海岸侵食の原因として二つめに大きな点は、沿岸域の開発・利用のために、全国各地で港湾や漁港の沿岸構造物の設置により沿岸漂砂の流れが変化して、周辺の海岸で堆積と侵食が生じてしまったために、海岸侵食が進行してしまったことが挙げられる。

全国にいくつもの例があるが、例えば宇多(1997)<sup>1)</sup>は顕著な例として、愛知県の赤羽根漁港周辺の海岸線の変化を挙げている。赤羽根漁港は、図 2.3.1 に示すように、天竜川河口から伊良湖岬まで延びる大きな弧の先端部にある渥美半島に位置する。この周辺の海岸では、西向きの沿岸漂砂が卓越しているが、そこに赤羽根漁港の防波堤が伸ばされたために、漁港の東側海岸では堆積が、西側海岸では侵食が生じている。1963年撮影の空中写真から読み取った汀線を基準として、1986年までの汀線変化の沿岸分布を求めると図 2.3.2 のようになる。基準点を赤羽根漁港の東側に位置する高松崎に置くと、赤羽根漁港の東防波堤は 3km、西端の越戸は 6.3km に位置する。先程の図によると、防波堤の隣にある 1.5~3.0km の海岸線は、防波堤によって沿岸の漂砂が阻止されたために、1973年までに徐々に前進したが、その後 1973~1977年ではほとんど変化が生じなくなった。その時の空中写真によれば、1973年にはまだ東防波堤の長さは短く、防波堤先端まで汀線が前進したことから沿岸漂砂の大部分は西側へと回り込んだと考えられる。その後 1977年以降は西向きの沿岸漂砂が遮断され、1986年まで汀線は急激に前進し、東防波堤の近傍の 3km では、1963年に比べ 170m も汀線が前進したとされている。またこのような変化とは逆に、漁港の西側では漁港近傍を除き汀線の後退が著しい。3.4km~6.3km の海岸線は 1977年まで経年的に後退したが、1977~1986年では殆ど見られなくなった。これは 1977年の空中写真によれば、波が護岸に到達していることが観察されたとのことなので、護岸があることによってその位置より汀線は後退しないから、汀線変化は内容に見え、その代わりに侵食域は下手方向へと広がりを見せていることを示している。



図 2.3.1 渥美半島周辺の地形図(宇多、1997)

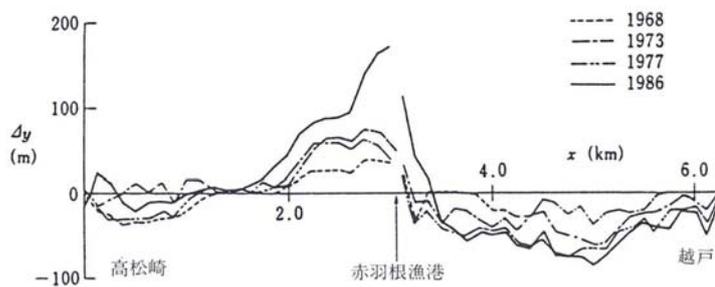


図 2.3.2 赤羽根漁港周辺の汀線変化(宇多、1997)

写真 2.3.1 は 1986 年 3 月に高松崎上空から西方を望んで撮影した赤羽根漁港の斜め写真で、西向きに沿岸漂砂が防波堤により阻止された状況が非常に明確である。一方、防波堤の西側では防波堤の付け根部分で回折波の影響により三角形の前浜が形成されているが、それより西側では砂浜が侵食により消失し、波が護岸まで到達していることが良く分かる。



写真 2.3.1 高松崎上空から赤羽根漁港を望む(1986 年 3 月撮影)  
(宇多、1997)

## 2.3.2 沿岸域の砂浜確保の試み

### (1) 総論

本章第 2 節で論じたように、海浜は沿岸漂砂の供給と流出のバランスが取れて安定しているが、沿岸域のめざましい開発・利用が進むにつれて、港湾・埋立等のために設けられた沿岸構造物等の設置に伴い、沿岸漂砂が遮断されて、漂砂上手側で堆積し、下手側で海岸侵食が生ずる顕著な例が全国的に増大している (図 2.3.3)。

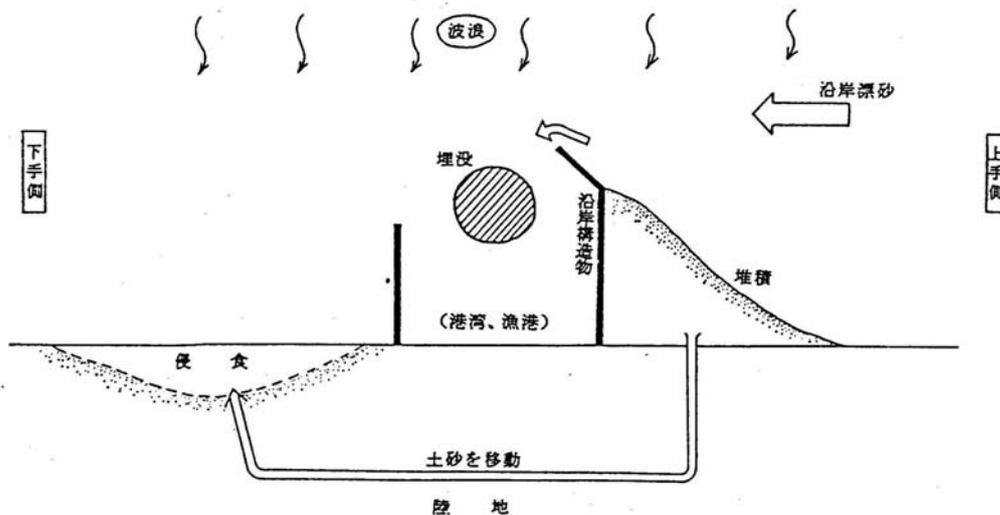


図 2.3.3 沿岸漂砂の連続性の確保の概念図

建設省では、このような背景に鑑み、これらを同時に解決する手法を検討するため、運輸省及び水産庁との共同調査として、1983（昭和 58）年から 2 カ年で「海岸部における砂輸送システムに関する調査」を実施した。

斉藤・岸田(1984)<sup>2)</sup> は、この調査全体についての概要を紹介している。以下「海岸部における砂輸送システムに関する調査」全体について担当していた立場から述べる。

調査を実施した当時、外国では、航路維持のためのサンドバイパスの事例等も多数見られるものの、日本では、その適用性も含めて十分な検討が行われていないのが現状といえた。こうしたわが国における状況の下で、この調査は、沿岸構造物の周辺地形で砂の堆積、侵食が近接して発生している海岸において、これらを同時に解決する手法について、サンドバイパスを主眼として検討するものであり、現地調査を実施してその結果を踏まえつつ行うものであり、砂浜の位置づけが明確でなかった当時としては、極めて画期的なものと言える。

以下にこの調査全体の概要を紹介する。

調査した地域は、沿岸において利用水面の埋没と海岸侵食が生じている沿岸漂砂の変動の激しい外洋に面する地域として、波浪条件が異なるという意味で、太平洋側と日本海側において 1 カ所ずつ選定した。

調査内容としては、次のように行った。

- ① 太平洋側と日本海側の各々のモデル海岸について、海象条件、地形条件、海浜地形等に関して、現況の基礎的な条件のとりまとめを行う。また、全国の他海岸の状況も勘案して、モデル海岸としての位置づけを行う。
- ② 各々のモデル海岸において、現況を十分把握し、漂砂のバランスを考慮して、漂砂上手側の堆積箇所から砂を採取し、下手側の侵食箇所に運搬投入する。
- ③ 砂輸送を行った箇所を中心に追跡調査を実施し、海浜変形、波浪、漂砂の移動等に関

して解析を行い、砂輸送の評価を行う。

- ④ これらの検討とともに、利用水面の埋没等の堆積対策及び海岸侵食対策にして離岸堤工法、サンドバイパス工法を含む種々の対策手法の検討を行う。
- ⑤ さらに、各対策手法について効果・便益等を総合的に評価し、その運用の検討を行う。
- ⑥ 以上の結果を踏まえ、沿岸漂砂の連続性を確保するための効率的で経済的な施策に関して、他海岸への適用性も含め検討する。

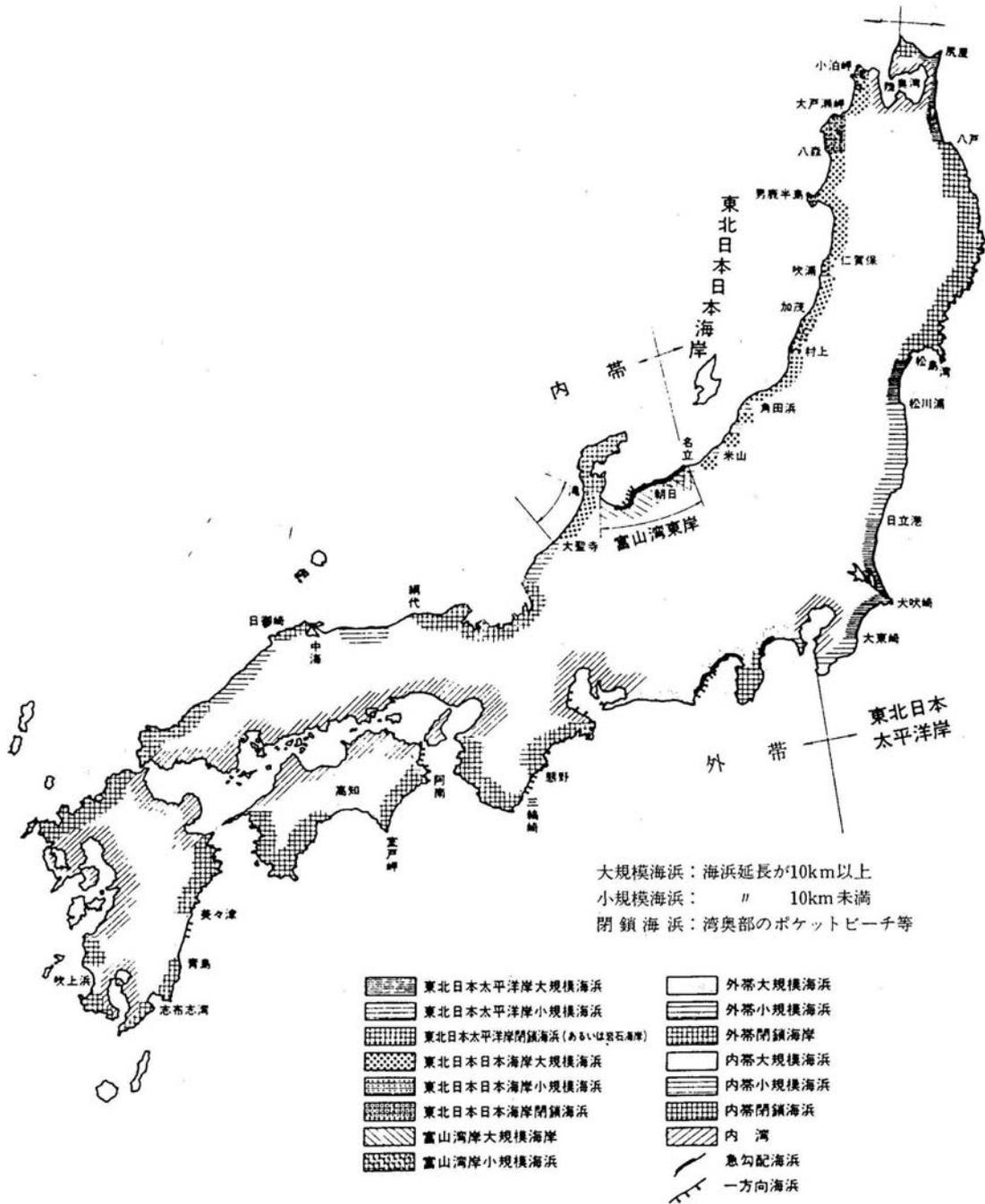
田中（1983）<sup>3)</sup>によれば、我が国の海岸について、北海道を除く沿岸域をマクロ的に区分すると、東北日本太平洋岸、東北日本日本海岸、外帯（南西日本太平洋岸）、内帯（南西日本日本海岸）、富山湾岸、及び内湾となる。

これらの沿岸の地域区分及び海浜特性の主な区分を図 2.3.4 に示す。各地域の砂浜海岸の特性を要約すれば次の通りである。

- ① 東北日本太平洋岸及び東北日本日本海岸の砂浜は、一般に延長の長い、美しい弓形の汀線形状を有し、海底勾配は緩やかである。このため、波は汀線にはほぼ直角に入射し、正味の沿岸漂砂量は小さい。2 地域の大きな違いは、潮汐と波浪特性にある。特に波浪特性については、東北日本日本海岸では冬期風浪が卓越するため、短期的な海浜変形が、東北日本太平洋岸に比べて大きい。両地域とも、海浜は比較的安定で、侵食対策工としては、突堤よりも離岸堤が有効である。
- ② 外帯海岸及び富山湾岸は、潮汐に差が見られるものの、両者共海底勾配が急であり、礫浜の海岸が多い。漂砂は岸近くで活発であり、富山湾東岸、駿河湾西岸及び湾奥部、紀伊水道西岸においては漂砂の卓越方向が明瞭である。このため海岸構造物の上手堆積、下手侵食という典型的な地形変化が生じやすい。侵食対策としては、突堤やサンドバイパスが有効である。
- ③ 内帯海岸には、海浜の規模が小さく、両側の岩礁や島などによって波から遮蔽された海浜が多い。このため波の入射方向が限定されている場合が多く、海浜は安定性が高い。侵食対策としては土砂の投入が有効である。

以上から総合的に検討して、モデル海岸としては次のように選定した。

太平洋側では、静岡県駿河湾に面しており大井川河口付近に広がっている駿河海岸及び大井川港を調査地域とした。日本海側では、冬期風浪等による波浪の激しい富山県の下新川海岸及び宮崎漁港を調査地域とした。ここで、沿岸構造物として、港湾で整備された防波堤、漁港で整備された防波堤をそれぞれの地域で対象としており、そういった意味でも画期的な調査として注目された。



\*田中則男；日本沿岸の標砂特性と沿岸構造物築造に伴う地形変化に関する研究，港研資料，No. 453, p. 148, 1983.

図 2.3.4 日本沿岸の地域区分と形態区分 (田中、1983)

## (2) 太平洋側一駿河海岸での現地実験

太平洋側の駿河海岸で実施された現地実験については、建設省中部地方建設局等(1984)<sup>4)</sup>や滝澤ら(1986)<sup>5)</sup>に報告されているが、現地実験を企画した直接の担当者の一人として著者が現地実験の概要を再整理する。

### ① 調査地域の概要

駿河海岸は、大井川の河口を先端として、その両翼に広がる延長約18kmの海岸である(図2.3.5参照)。地形的に見れば駿河湾湾口の御前崎の東北部に位置し、大井川の河口を中心として、両翼に南西から北東へ延びている。駿河湾がほぼ南に向いて太平洋に開いているために、南東からの入射波が卓越する。このために大井川左岸の海岸での沿岸漂砂の卓越方向は北東向きである。南寄りの勝間田川から坂口川にかける静波海岸では、背後に三方ヶ原大地が迫り、海岸に沿う帯状の平野は南に下がるにしたがって狭くなっている。坂口川から焼津市田尻にかけての

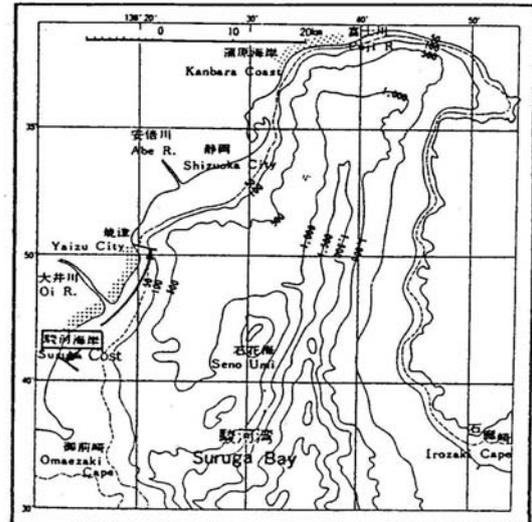


図 2.3.5 駿河海岸全体位置図

海岸はまさに扇状地の扇端部をなしている。この間には、海岸線と直交して吉田港、大井川港の防波堤が設置されている。田尻地先で海岸線は直角に曲がり小川港に至る。この田尻地先には、海底トラフが海岸線近くまで迫り、急深の海岸になっており、漂砂の一部はこの海溝に落ち込んでいるのではないかとされている(図2.3.6参照)。

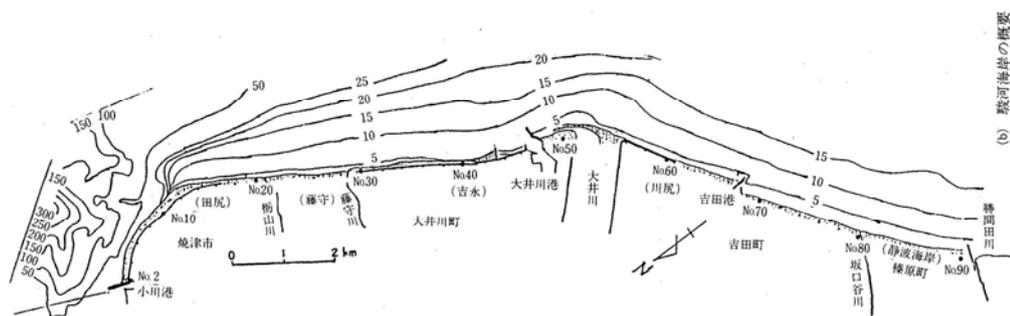


図 2.3.6 駿河海岸周辺詳細図

一方、大井川港は、大井川河口付近の豊富な骨材資源の搬出を目的として、1962(昭和37)年8月大井川町管理の地方港湾として着工された。その後、数次にわたる拡張整備により調査時点までに至っていた(写真 2.3.2参照)。開港当時は骨材の搬出が

主であったが、その後石油・ガス・水産物に関する物流等が増大し、この地方の基幹産業の重要な基地になっている。南防波堤の整備は1962(昭和 37)～1964(昭和 39)年にかけて 240m が造られ、次いで1970(昭和 45)～1974(昭和 49)年にかけて 160m が延長された。さらに1983(昭和 58)年度からは 80m の防波堤の延長と航路水深-7.5m の確保が事業化され着手された。



写真 2.3.2 大井川河口から駿河海岸

② 防波堤による土砂の捕捉と土砂バイパス

a) 防波堤による土砂の捕捉状況

大井川により供給された土砂は、卓越する南からの波浪によって北側に移動する。このため防波堤の前面（南西側）には土砂が堆積し、下手側(北東側)は侵食されることになる。写真 2.3.3～2.3.5 は大井川での砂利採取が禁止された後の土砂の堆積状況を見たものである。防波堤前面では元の海岸線と平行して浜が前進し、防波堤前面が満杯になると漂砂は防波堤を越え、下手側の海浜形成に寄与しているようである。

1974(昭和 49)年以降の防波堤周辺の土砂の移動量をまとめてみると表 2.3.1 のようになっている。年ごとにバラツキはあるが 8 年間の単純な年平均の移動量を見ても約  $150 \times 10^3 \text{ m}^3$  程度はあるものと推察される。



(a) 1977

写真 2.3.3 大井川港周辺 (1977)



(b) 1979

写真 2.3.4 大井川港周辺 (1979)

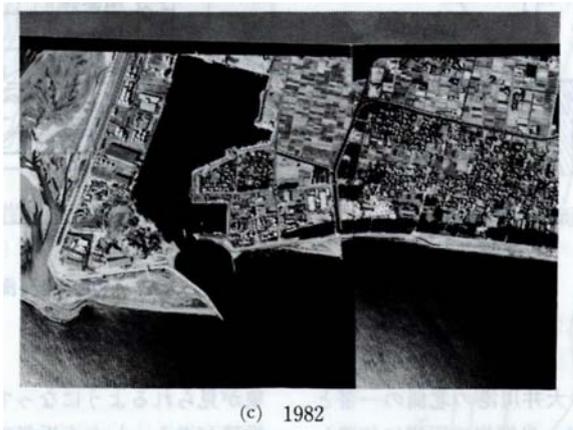


写真 2.3.5 大井川港周辺 (1982)

表 2.3.1 大井川港防波堤による漂砂の捕捉量

Year	( $\times 10^3 \text{ m}^3$ )				
	1	2	3	4	2+3+4
1974, Jan	667	—	110	57	—
1975, Feb	781	+114	110	36	260
1976, Feb	568	— 13	160	27	— 26
1977, Feb	754	+186	87	21	294
1978, Feb	695	— 59	50	48	39
1979, Feb	879	+184	0	39	223
1980, Feb	965	+ 86	0	38	124
1981, Feb	1,228	+263	0	32	295

1. 大井川港湾南防波堤から測線No50までの水深6m以上の空間における堆積土量
2. 南防波堤より西側からの砂利採取量(4月から翌年3月までの1年間)
3. 航路および泊地での浚渫工事における砂利採取量( " )

b) 土砂バイパス

駿河海岸の測線配置を図 2.3.7 に示すが、上記でも述べたように防波堤前面が満杯状態になると、土砂は防波堤を越え航路に流入することになる。また防波堤の延長計画や航路浚渫などもあって防波堤前面の土砂の排除が必要になった。一方下手側は慢性的な侵食海岸なので、この防波堤前面から掘削した土砂を下手側の海岸にバイパスすることとした。

具体的には、防波堤南側で堆積している土砂をこの陸上部より採取し、大井川港の北側の測線 No.36 へ投入した。投入位置は吉永放水路の北約 1.5km の地点である。土砂採取と投入は 2 回行われ、第 1 回目は 1983(昭和 58)年 10 月 27 日から 12 月 7 日まで、第 2 回目は 1984(昭和 59)年 7 月 18 日から 10 月 3 日までである。投入土砂はトラックで運搬され各回とも約 6 万  $\text{m}^3$  の投入が行われた(写真 2.3.6 参照)。但し、第 1 回目の土砂のうち約 1.3 万  $\text{m}^3$  は汀線への搬入路用に用いられ、正味の投入量は約 4.7 万  $\text{m}^3$  である。

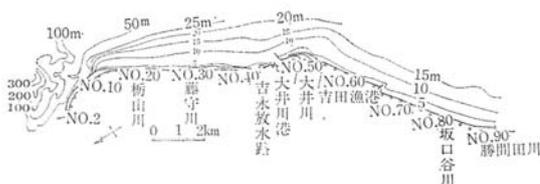


図 2.3.7 駿河海岸測線配置図



写真 2.3.6 消波堤前面に投入されるバイパスされた土砂（駿河海岸）

c) 現地調査

土砂投入後、深淺測量、トレーサー調査、底質調査等の追跡調査を実施した。

土砂投入前後の汀線変化を図 2.3.8 に示す。図の上段が第 1 回目、下段が第 2 回目の変化である。上段の図によれば、投入した No. 36 では 36m 汀線が前進したが、その後突起地形の頂部が後退し、主として北側測線において汀線が前進した。これはこの期間の漂砂の卓越方向が北東向きであることを示している。第 2 回目の土砂投入前後の汀線変化も第 1

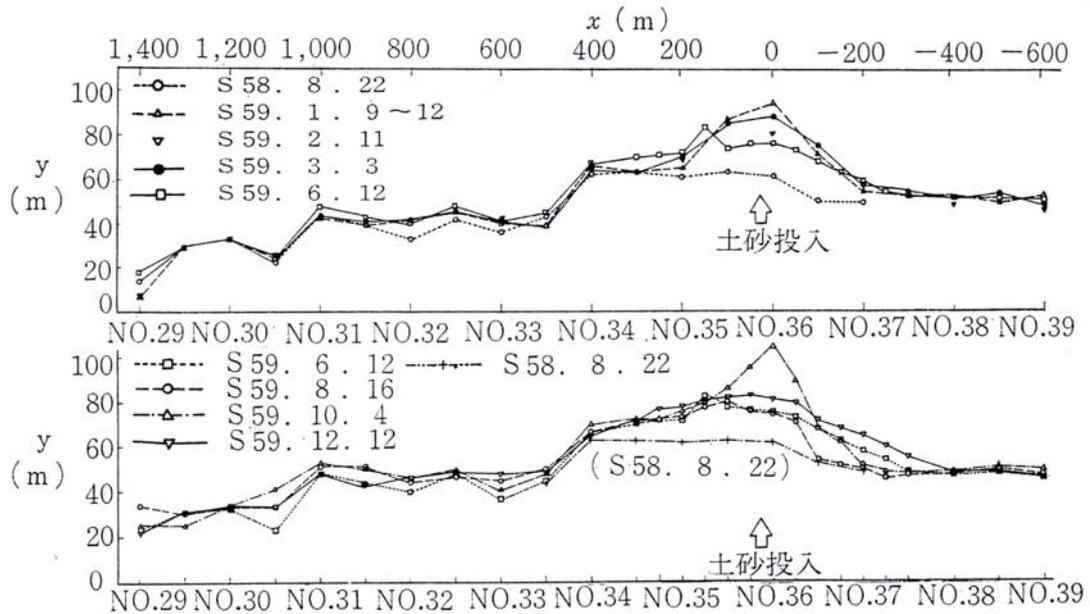


図 2.3.8 土砂投入前後の汀線変化

回目と良く似た特性を示していることが分かる。6月12日の汀線形状は土砂投入前であるが、前年に行われた土砂投入のため No.34~No.37の間では汀線が沖側に突き出していることが分かる。その後の土砂投入に伴い、汀線が変化しているが、最終的に測量が行われた12月12日には投入点においては大きく沖に突き出した汀線は頂部が平坦となり、土砂の一部は南側へまた一部は北側へと移動した。また、土砂投入によって汀線が沖に突き出したためその頂部は削られたが、全体的には緩やかに変形しつつも、相当多くの土砂が投入点付近

に残されたことが分かった。このことは、侵食により土砂が欠損している海岸において土砂投入を行うことがかなり有効なことを表している。

土砂投入後の地盤高の変化を見るために、1984(昭和59)年3月の深浅測量データから、1月のデータを差し引いて求めた54日間のを図2.3.9に示した。地盤高の変化は4ランクに分けて示されているが、最大の変化はNo.36で表れている。また1m以上侵食が起きた区域が北側に斜めに広がっている。土砂投入時期の波浪観測は1983(昭和58)年1月～8月に行われ、一般的に著しい高波浪は出現していなかった。

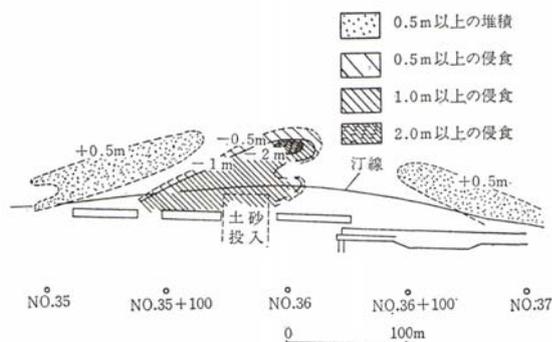


図 2.3.9 土砂投入後の地盤高の変化

次に代表的測線の海浜断面形状の変化を明らかにする。図2.3.10は土砂投入の行われた測線No.36の第1回、第2回の土砂投入前後の断面形の変化を示している。これによれば第1回の投入後の動きとしては投入直後の断面形をほぼ平行移動したかのような堆積の後、部分的な侵食と堆積を繰り返し、岸向きの移動となり、その後全体的に侵食されている。第2回目の投入直後は海側に大きく突き出た地形断面が形成され、その後投入土砂は流出したものの、海浜断面が初期断面形を平行移動した形で変形したことが分かる。また、短期的には沖向き漂砂も生じた可能性もあるが、短期間で元に戻ることが分かる。また重要な点として投入土砂は水深6m以浅にとどまっており、沖合へは流出しなかった点が挙げられる。このような断面形状の変化から、海浜変形は主として沿岸漂砂によって生じたものと考えられる。

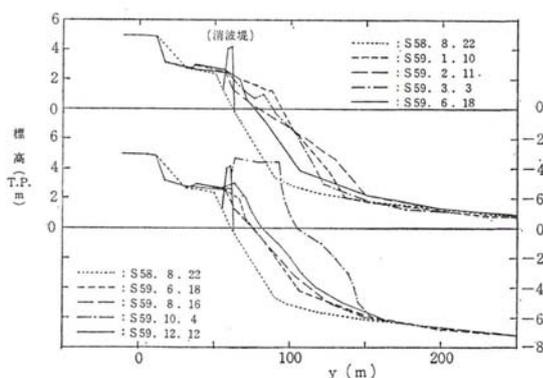


図 2.3.10 海浜断面形状の変化(測線No.36)

投入土砂の移動状況を調べるためにトレーサー調査を実施した。第1回は投入土砂と同じもので、黄色と赤色の蛍光塗料を混合した。土砂投入地点の北側に投入された赤色のトレーサーの分布を図2.3.11に示すが、着色礫は投入後北東方向へ拡散しつつ移動した。また着色礫は汀線近傍にのみ発見されて

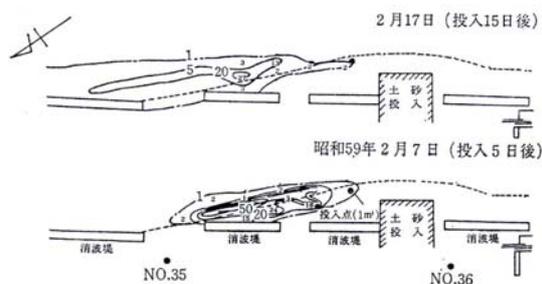


図 2.3.11 着色礫の拡がり (赤色)

おり、沖側では見出されていない。投入後 15 日では 5 日後と比較して発見個数はずっと減少し北東側に広く拡散した。このようなトレーサー

の移送状況はこの期間の沿岸漂砂の卓越方向が北東方向であることを表している。土砂投入地点の南側に投入された黄色のトレーサーの拡散状況を図 2.3.12 に示す。これも同じように着色礫は汀線近傍に数多く発見され、沖合にはあまり移動していない。しかし、緩い速度でわずかに南西向きに移動していた。これは投入地点の地形が沖方向に突き

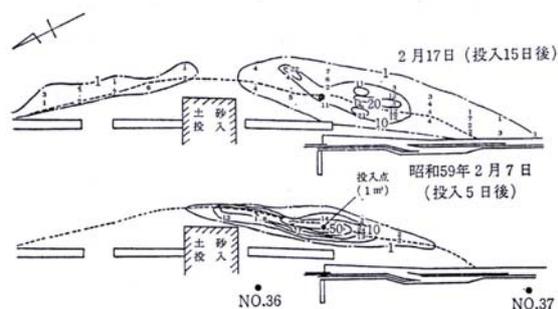


図 2.3.12 着色礫の拡がり (黄色)

いて局所的に南西向きの漂砂が生じたものと考えられる。第 2 回目の投入時にはトレーサー調査として矢作川産の白色花崗岩礫  $30\text{m}^3$  を投入しその移動状況を調べたが、ほぼ同様の傾向を示しており、沖合への移動も少なく、水深約 5m 以浅で沿岸方向に移動した。

このような現地調査を実施したことにより次のようなことが分かった。

- ・ 駿河海岸で投入された土砂は北東方向に流れたが、これは沿岸漂砂の卓越方向が北東方向であることを示している
- ・ 投入土砂は北東方向に流されたが、対象期間内で急速に失われることなく、相当量の土砂が投入地点近に保存され、養浜として役立った。
- ・ 投入土砂は水深約 6m までの範囲で動いており、それより沖方向へは殆ど動かなかった。
- ・ 投入土砂が沿岸方向に流れて海浜の変形が生ずる場合、海浜断面形はほぼ初期断面形を平行移動したものとなる。
- ・ 投入土砂はある程度砂移動を阻止する構造物がなければ最終的には投入点から失われてしまう。従って今後においては砂捕捉構造物の検討が必要になる。

### (3) 日本海側一下新川海岸での現地実験

日本海側では下新川海岸において現地実験が行われたが、その内容については建設省北陸地方建設局 (1984)<sup>6)</sup> や須山ら (1986)<sup>7)</sup> に紹介されている。駿河海岸と同様に企画担当者の一人として、著者が実験の内容と結果を再整理する。

#### ① 調査地域の概要

下新川海岸は、富山湾の東部に位置し (図 2.3.13 参照)、図 2.3.13 に示すように東は境

川河口から、西は片貝川河口に至る延長約 28km の海岸である。富山湾には日本海から湾内に深く切れ込む富山舟状海盆が存在し、沿岸部は沖合数 km で水深 500m を超える急勾配斜面となっている。下新川海岸の底質は小砂利および礫から構成されている。気象・海象としては過去の卓越波向は NW~NNW である。また冬期間に高波浪が多いが、既往の高波浪は富山湾岸で「寄り周り波」と称されるうねりと冬季季節風による風浪が多い。

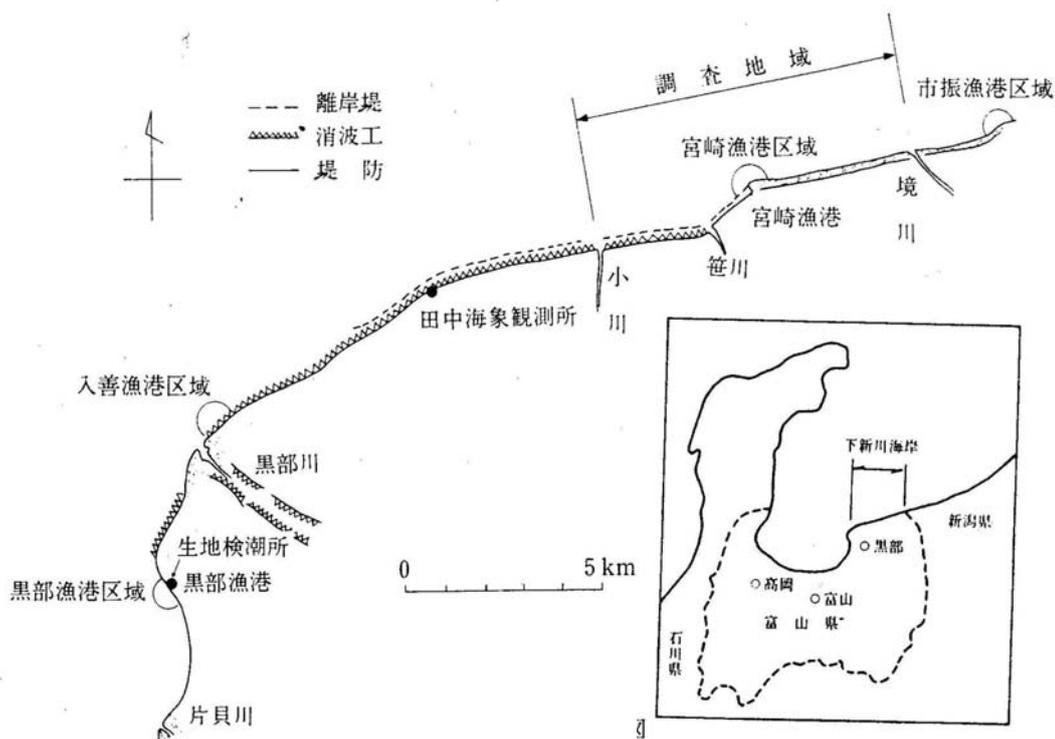


図 2.3.13 下新川海岸位置図及び平面図

地形的に見れば、汀線後退が江戸時代末期から生じており、明治 40 年代から昭和 40 年代にかけて下新川海岸全域にわたって汀線は後退しており、この約 70 年間に 50~150m の汀線の後退が生じている。わが国でも有数の侵食海岸であり、種々の侵食対策が行われてきた。しかしその後も侵食傾向にあり、離岸堤の沈下や海岸堤防前面の洗掘等が生じている。

一方、宮崎漁港では 1950(昭和 25)年から 1956(昭和 31)年にかけて、長さ 177.8m の防波堤が設置され、さらに 1966(昭和 41)年には 10 数 m 延長され現在に至っている。

現在の宮崎漁港周辺の海底地形を図 2.3.14 に示す。宮崎漁港東側には砂浜が見られるが、西側の海岸には砂浜は殆ど無く、護岸、離岸堤が設置されている。宮崎漁港東側と笹川河口以西の海岸線はおおよそ東西方向に平行であるが、両者は約 600m 食い違っており、笹川河口以西が陸側に後退した形状を示している。宮崎漁港以东では、水深 10m までの海底勾配は約 1/10 で、水深 10m~20m 間は約 1/100、水深 20m 以深は約 1/25 となっている。宮崎漁港以西では、西に行くに従い、水深 10m 付近の勾配は徐々に緩くなり、笹川河口以西で水深 5m までの勾配は約 1/20、水深 5~20m の間が約 1/150 となっている。なお、宮崎漁港付近一帯の海岸は、宮崎わかめとして全国的に有名な産地であり、漁港以西の岩礁地帯などは養殖も盛んである。

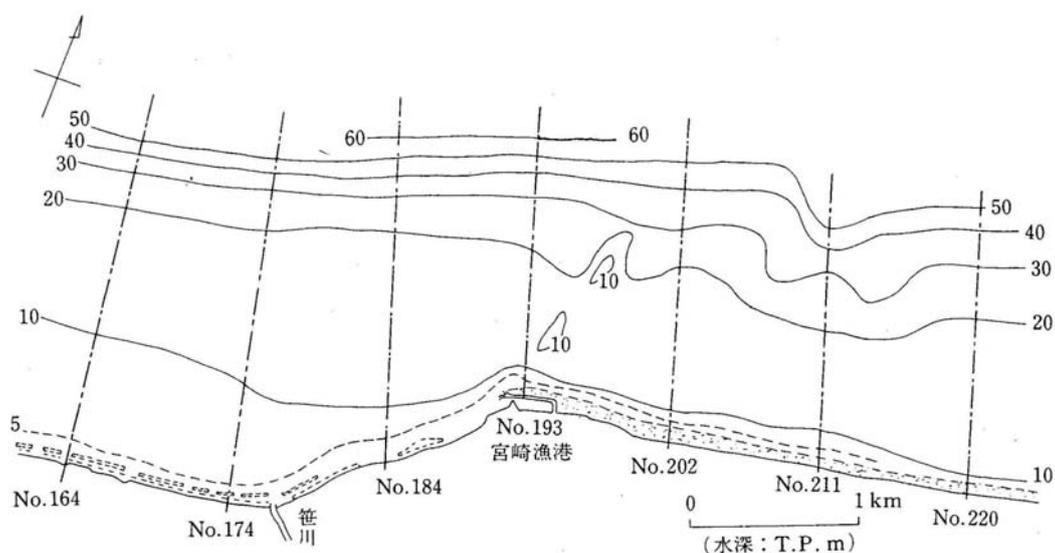


図 2.3.14 宮崎漁港周辺の海底地形 (昭和 56 年 7 月測量)

宮崎漁港の防波堤延伸に伴う汀線変化を示したものが図 2.3.15、2.3.16 の通りであるが、防波堤の延伸に伴って東側海浜の汀線が前進し、西側海浜に汀線が後退している。このような変化は、境川河口から東へ約 2km 離れた市振漁港周辺、あるいは黒部川右岸の入善漁港周辺でも生じており、下新川海岸全域にわたる沿岸漂砂の卓越方向が西向きであることを示して

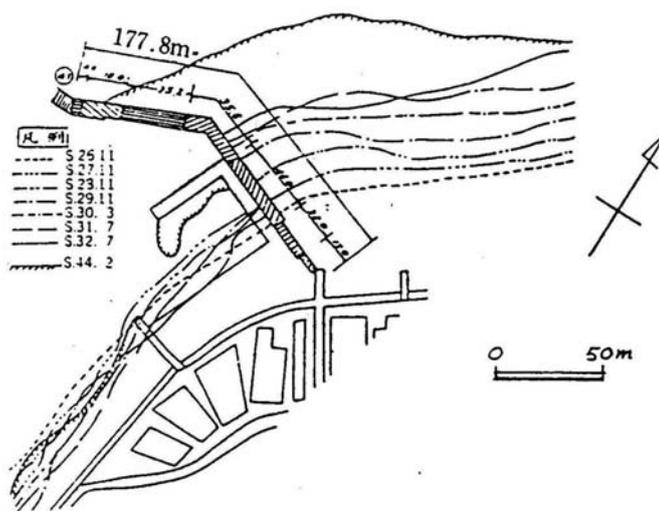


図 2.3.15 宮崎漁港の施設拡張と周辺の汀線変化

いる。この際の沿岸漂砂量について、宮崎漁港東側海浜の汀線前進量から推定された量は約  $14,000\text{m}^3/\text{年}$  であり、西側海浜の汀線後退量から推定される量は約  $50,000\text{m}^3/\text{年}$  である。

また宮崎漁港では、漁船の航路維持のため、定期的に防波堤前面、あるいは港内において堆砂の掘削を行っている。図 2.3.17 には 1981(昭和 56)年 4 月以降の堆砂

の掘削位置と掘削量を示したものであるが、掘削位置としては東防波堤前面と背後になっており、前者は約  $3,800\text{m}^3/\text{年}$ 、後者は約  $5,000\text{m}^3/\text{年}$  となっている。

ここで土砂掘削の位置及び海底地形測量結果から推定されることは、港口部の土砂の移動傾向は、東防波堤先端の開口部より侵入し、一部は西防波堤背後にまで到達していることが分かった。

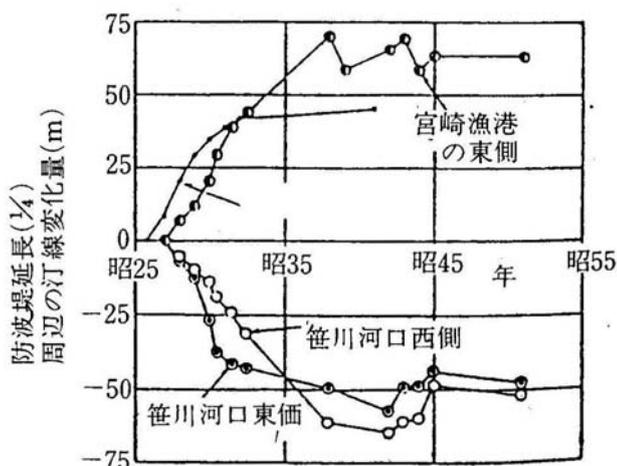


図 2.3.16 宮崎漁港防波堤延伸に伴う汀線変化

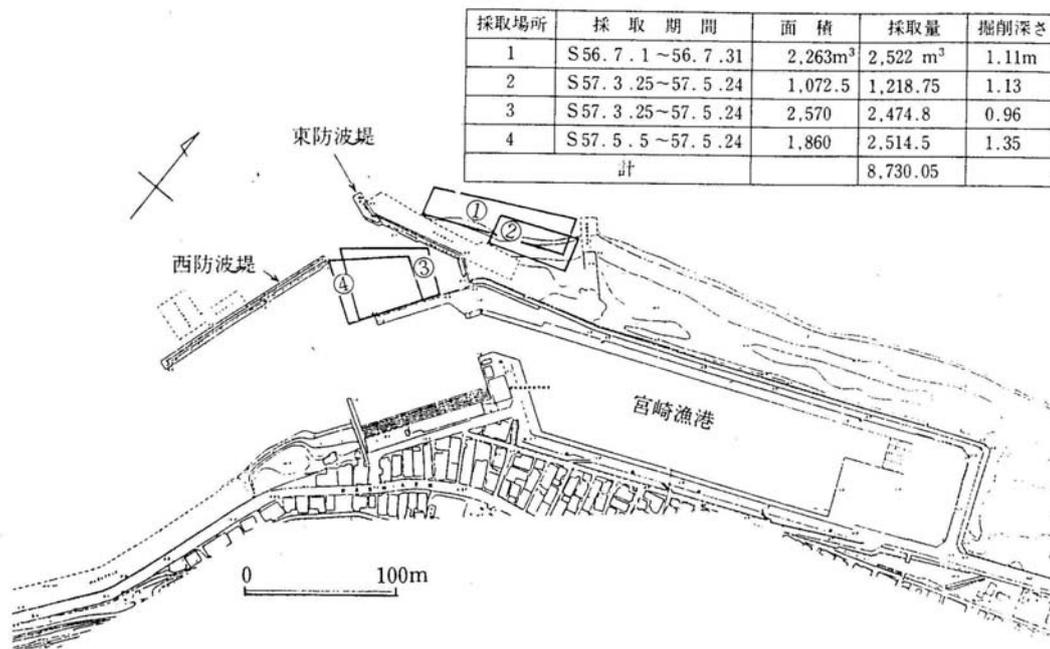


図 2.3.17 宮崎漁港区域内の土砂採取地点とその量

② 現地調査

砂輸送は次の方法で行った。まず宮崎漁港東防波堤前面から土砂を採取し、図 2.3.18

に太い実践で示すコースに沿って下手側の下新川海岸横尾地先まで2.5km 区間の 11t ダンプトラックにより陸上輸送を行い、既に設置している離岸堤背後の静穏域に投入した(図 2.3.19、2.3.20 及び写真 2.3.7、2.3.8 参照)。土砂の投入量は  $5,900\text{m}^3$  であった。土砂の輸送は昭和 58 年 10 月～12 月までの 34 日間という冬季風浪に係るときだったので、海上輸送は困難であったことと対象海岸の底質が礫であったことから陸上輸送としたが、投入自体は 6 回に分けて行われた。土砂の投入箇所は、漁港のすぐ下手側の海岸付近は魚貝類の好漁場でありそれへの影響が懸念されたこと、将来サンドバイパス工法が定着することを考えた場合に下新川海岸のような海岸では離岸堤と養浜工とを組み合わせた工法も有効であると考えられたことから、離岸堤背後を選定した。

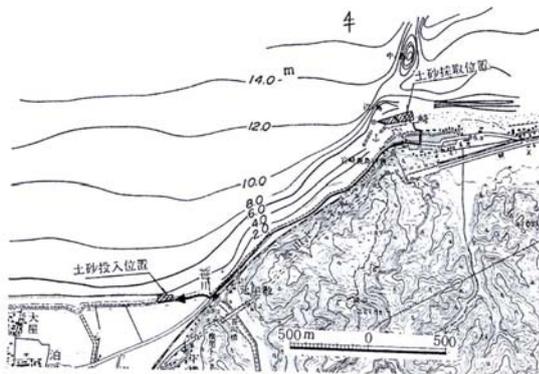


図 2.3.18 調査地域全体図



写真 2.3.7 土砂採取状況 (宮崎漁港東防波堤前面海側)



写真 2.3.8 土砂投入状況 (横尾地先)

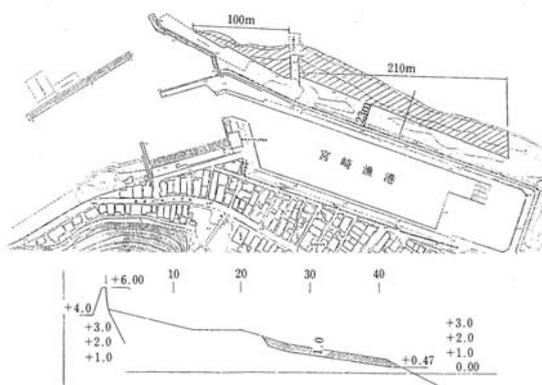


図 2.3.19 宮崎漁港周辺・土砂採取力所平面・断面図

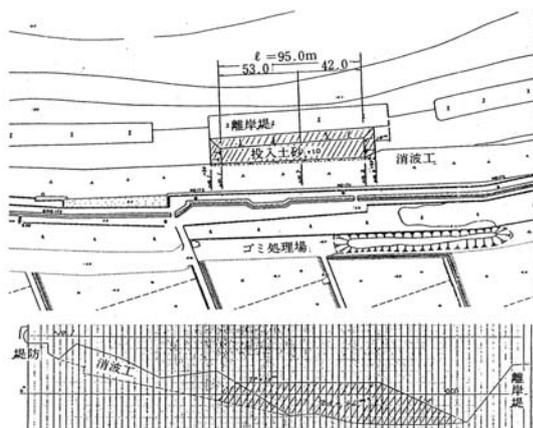


図 2.3.20 下新川海岸横尾地先投入土砂平面・断面図

土砂投入及び追跡調査の行われた期間の波浪条件は、土砂投入点の横尾地先より 5.6km 西に位置する田中観測所で調べられ、投入点でも目視による波向観測が行われた。田中観測所では水深 15m 地点に設置された超音波式波高計で観測されていた。投入後の 1 年間の波浪の変化を見ると 11 月から 4 月までは冬季風浪により波高が高いが、5 月から 8 月中旬までは波高がほぼ 0.5m 以下と静穏になっている。このことが投入砂の移動に大きな影響を及ぼしていることが分かった。土砂投入地点での波向きは図 2.3.21 のような観測結果であるが、図の基準線が海岸線方向に取ってあることから、波はこの海岸線の法線より時計周りの方向より高頻度で入射したことが分かる。この入射条件元では西向き沿岸漂砂が卓越する。

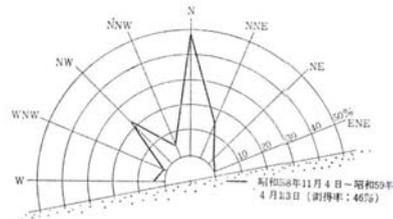


図 2.3.21 土砂投入点沖合の波向

図 2.3.21 土砂投入点沖合の波向

土砂投入に伴う海浜変形について、投入前後の深浅図により比較を行う。図 2.3.22 は土砂投入前の昭和 58 年 10 月から投入後の 59 年 1 月 21 日までの土砂投入地点周辺の地形変化を示す。土砂投入地点は図の右から 2 番目の離岸堤である。土砂投入前では離岸堤背後の水深は約 2m 程度であったが、土砂投入が完了した 12 月 7 日の海浜形状では投入点の離岸堤背後の汀線が前進している。この時期には既に西側の離岸堤背後の汀線に砂がつき始め、離岸堤背後が浅くなっている。その後翌年の 1 月 21 日までの変化によると、開口部での地形変化は小さく、また投入点の離岸堤背後のトンボロが小さくなり、西側の離岸堤背後でトンボロが発達した。

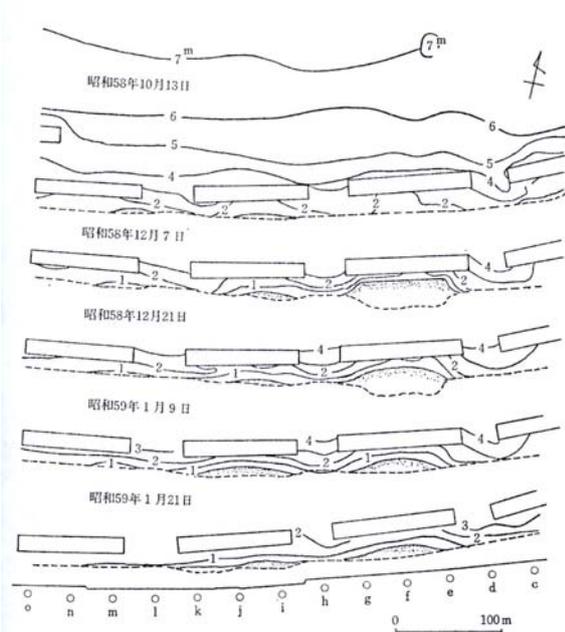


図 2.3.22 土砂投入前後の地形変化状況

これを投入点周辺の各側線における汀線と断面積の沿岸方向の変化量を見ると、図 2.3.23 になっており、汀線の変化は初期には急速であったが時間の経過と共に小さくなった。また断面積変化も汀線変化と良く似た変化をしている。しかし、離岸堤開口部では、汀線は前進してはいるが浅い部分に土砂が堆積していることからこれとは違った変化を示している。断面形状の変化を投入位置の離岸堤背後の測線で見ると図 2.3.24 のようになる。特に注目できるのは、昭和 58 年 12 月 21 日の形状は土砂投入後 14 日目の形状を表しているが、前浜より離岸堤の岸側端まで緩い勾配で土砂が堆積していることである。その後侵食は生じたが、地形変化は T.P.-1.5~1.8m、高さ 3m~3.3m の間で生じた。

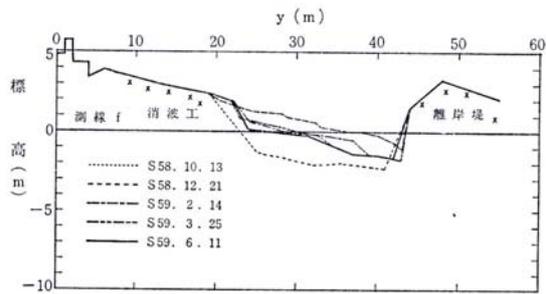


図 2.3.24 海浜断面形状の比較

トレーサー調査は土砂投入が完了した昭和58年12月7日に土砂投入地点の表層に約  $30\text{m}^3$  の着色コンクリートを散布し、その後59年10月2日までに11回にわたって追跡調査を行った。図2.3.25は着色コンクリートの粒径別発見個数の沿岸方向分布を示しているが、粒径5cm以下のものは時間の経過とともに確実に西向きに移動している。大粒径のものは細粒に比較すると移動は緩やかである。

さらに粒径5cm以下のものの移動が測線P付近までであること、また地形変化もこの付近で見られなくなることから、今回の土砂投入の観測期間中の主な移動範囲は下手側約350m付近までと考えられた。

このような現地調査の結果、下新川海岸のように漂砂の供給量が少なかったために離岸堤背後にトンボロが形成されなかった海岸において、人工的に土砂を供給すればトンボロの形成を促すこと、沿岸漂砂が卓越しているところでは離岸堤背後に投入された土砂は沖合へ急速に流出することもなく、ゆっくりと沿岸方向に拡がるのが分かった。またトンボロの形成は、越波、消波対策の上で有効であり、波力の減少によって海岸構造物の安定性の向上につながるものである。

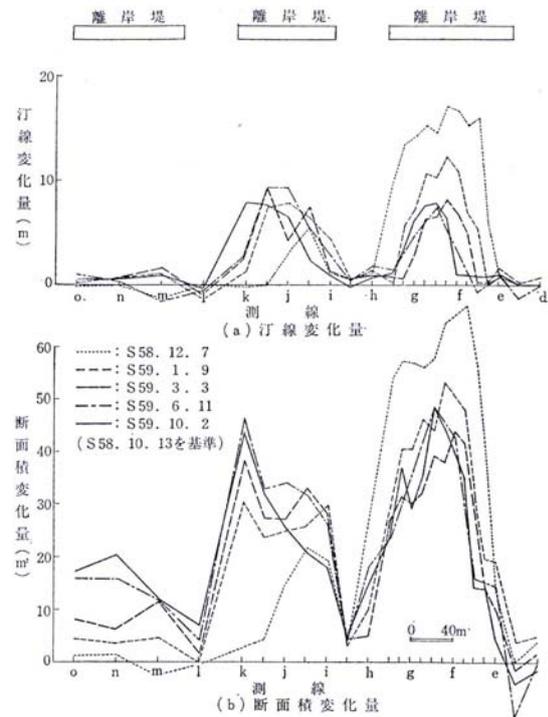


図 2.3.23 汀線と断面積変化量の沿岸方向分布

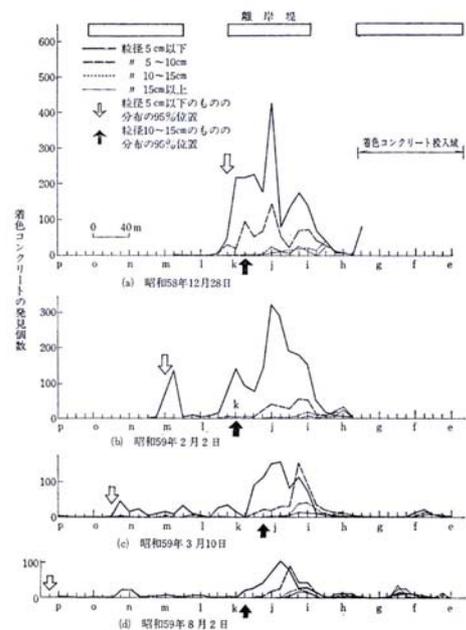


図 2.3.25 着色コンクリートの粒径別発見個数の沿岸方向分布

以上二つの現地調査により、わが国においてもサンドバイパスの適用が有効であることが分かった。特に沿岸方向の漂砂が卓越しているような海岸では極めて有効な工法であること、バイパスに合わせて投入した土砂をある程度砂の移動を制御するような構造物が必要であること等が分かった。

港湾・漁港の防波堤のために沿岸漂砂の流れが大きく変化したことにより、海岸侵食が進行してしまっている海岸では、一方で防波堤に堆積する土砂が航路の埋没を招くことにもつながりやすく、こうした試みが全国的な観点でさらに検討されていくことが望まれ、流砂・漂砂の連続性を確保する点からも持続可能性のある手法であると考えられる。

#### (参考文献)

- 1) 宇多高明：日本の海岸侵食，山海堂，442p，1981.
- 2) 斉藤雄三郎・岸田弘之：沿岸漂砂の連続性確保のための方策について(総論)，pp.110～115. 海岸 No.24, 1984.
- 3) 田中則男：日本沿岸の漂砂特性と沿岸構造物築造に伴う地形変化に関する研究、港研資料，No.453, pp.148, 1983.
- 4) 建設省中部地方建設局河川部河川計画課・静岡河川工事事務所：沿岸漂砂の連続性の確保のための方策について－駿河海岸を例として－，pp.126～132 海岸 No.24, 1984.
- 5) 滝澤俊二・宇多高明・堤博志・中山修：駿河海岸におけるサンドバイパスの現地実験，第33回海岸工学講演会論文集，pp.302～306, 1986.
- 6) 建設省北陸地方建設局河川部河川計画課・黒部工事事務所：沿岸漂砂の連続性確保のための方策について－下新川海岸を例として－，pp.116～125, 海岸 No.24, 1984.
- 7) 須山洋・宇多高明・吉村敏明・若田茂和・中山修：離岸堤背後への土砂投入による海浜変形，第33回海岸工学講演会論文集，pp.307～311, 1986.

## 2.4 流域の水・物質循環の変化

海岸管理を考えた場合には、沿岸域で行われた様々な行為が主として海岸侵食という形で顕在化してきたことは今までに述べた。しかし、沿岸域の抱える問題点はそれだけではない。即ち、沿岸域における水質面の問題は非常に重要な問題であり、程度の差はあるが色々な形で海岸線に影響が及んでいる。特に閉鎖性内湾を中心にした海域の水質悪化や生態系への影響については大きな問題である。こうした水質面においても、海浜を含む沿岸域、とりわけ閉鎖性水域における環境再生のためには、河川と海岸とのつながりをより強めていくこと、即ち流域の視点が求められることになる。

国土利用形態の変貌に伴い流域における物質循環の動態が大きく変化してきている。一方、流域からの水と物質の影響を強く受ける閉鎖性水域や沿岸海域に関して、水環境の悪化や生態系の異変が指摘されている。その主要な要因の1つが、国土利用形態の変化に伴う流域水循環を媒体とした物質循環の動態変化にあり、またそれは有機汚濁物質や栄養塩のうちN、Pの過剰供給という従来の枠組みだけではとらえられないとの仮説が注目されている。海に囲まれ、多くの閉鎖性水域を持つ我が国にとって、河川水が流れ込む水域の環境保全は重要であり、国土利用形態の変化との関係の解明および健全な水域環境の回復が喫緊の課題である。

そこで、閉鎖性水域における環境再生の実現に向けて、研究フィールドの主対象として、三河湾流域圏（三河湾とその流域）を取り上げ、陸域と海域における様々なデータ分析と数値解析等を行い、目指すべき方向性と推進すべき方策について調査・検討した<sup>1)</sup>。三河湾を対象としたのは、流域・河川を含む陸域に関するデータが豊富であり、沿岸海域の環境劣化と課題が明確で、その過程に関するデータも充実していることに加え、都市とともになお農地や自然地を有しており、環境劣化を修復・再生し、持続可能な流域管理を行うために、自然共生型の再生技術も含めた多分野にわたる幅広い施策検討が可能になりうると考えたためである。

### 2.4.1 流域の物質循環動態の変化

先ず水域生態系と密接な関係を持つという点で着目すべき物質の抽出とその特性について把握した。

#### (1) 直接的な影響を受ける生物種の選定

流域・河川の変化がもたらすインパクトによって引き起こされる海域環境のレスポンスの分析に役立てることを目指して、種々のインパクトがもたらす海域変化を抽出し、その影響を受けると考えられる生物種として植物プランクトン、底生生物（アサリ等）、海草類・海藻類（アマモ・コアマモ等）を選定した。

#### (2) 生物が必要としている栄養塩類とその形態の整理

上記で選定した生物種が必要とする栄養塩類として、N、P、Si、Fe、Zn、Mn、Co、Niを選定し、各物質の形態・必要とする時期・複数の栄養塩類間の量的な最適バランスに関

する情報を把握した。それらを、枯渇・過剰による海域生態系への影響のレベル・情報の蓄積量といった観点より、N、P、Si の 3 物質に絞り込みを行った。

### (3) 物質の抽出

河川から供給される土砂には無機態リンが吸着しており、出水による大量の土砂の供給があると、吸着する無機態リンが沿岸域に流出し、これが沿岸域の底泥からの溶出に大きな影響を及ぼす。

以上より、窒素・リン・シリカに微細土砂を加えた 4 つを着目すべき物質として抽出した。

### (4) 陸域から海域への窒素・リンの供給量の経年変化

次に(3)で選定した物質について、陸域から湾域への昭和 30 年代から現在に至る供給量の経年変化を推計した。

#### a) 供給量の推計方法

三河湾へ流入する豊川、矢作川を対象に、流域・河川からのインパクトを明確にするため、昭和 30 年代からの 5 年毎に、流域からの供給量の経年変化を以下の方法により推計した。

#### b) 原単位法による供給量の経年変化

流域別下水道整備総合計画で用いられている供給量算定方法（流総方式原単位法）に準じて汚濁負荷量原単位を設定し、社会統計データ、下水道データ、し尿処理場データから発生汚濁源別に排出汚濁負荷量を積み上げる方法である。

#### c) 形態別算定法

順流末端での原則月 1 回の水質調査データの形態別濃度にその時の流量を掛けて一年分積み上げる方法及び、既存 L-Q 式を用いて流量データから 1 年間積分する方法である。

#### d) 推計結果

各方法で得られた全体的傾向は次の通りである。

原単位法を用いて算定した結果、T-N、T-P は豊川・矢作川では昭和 55 年をピークとして増加し、近年まで減少傾向を示していた。

水質調査データから形態別供給量を算定した結果、昭和 50 年代は  $\text{NH}_4\text{-N}$  及び有機態窒素の供給量が多い一方、平成 15 年は  $\text{NO}_3\text{-N}$  が増加している。

既存 L-Q 式を用いた方法により算定した結果、豊川・矢作川ともに T-N、T-P いずれについても、豊水以上の流量の影響が大きいという結果が得られた。L-Q 式を用いた方法と原単位法による排出負荷量を比較すると、その値は異なり、河川毎に変動が大きく、一定の傾向がみられなかった。それぞれの方法をさらに吟味し、出水時の供給量に関するデータの蓄積等により、供給量の算定方法の精度向上に向けた検討の必要が示唆された。

### (5) 陸域から海域へのシリカ供給量の経年変化

H19 年(9 月)調査によると、豊川の溶存態ケイ酸濃度の縦断変化を見ると、ダム下流で上流に比べてケイ酸濃度は減少しているが、さらに下流ではケイ酸濃度は増加しており、河



30年代からの流入負荷の推移、干潟・浅場・藻場面積の変化、赤潮・貧酸素水塊の発生から、特徴的な段階として図 2.4.2 に示す 4つのフェーズに区分した<sup>6)7)8)</sup>。

	流入負荷	干潟・浅場・藻場面積	赤潮・貧酸素水塊の発生
フェーズ1 ～1965年	少ない	広い	少ない
フェーズ2 1965年～ 1970年	増加	やや減少	顕在化せず
フェーズ3 1970年～ 1975年	最大	埋立・浚渫等により大幅に減少	顕在化
フェーズ4 1975年～ 現況	減少	少ない状態を維持	継続

図 2.4.2 三河湾環境劣化の過程

三河湾は、流入負荷の増大、干潟・浅場・藻場の減少により、貧酸素水塊の発生が顕在化し、二枚貝類の減少、干潟・浅場の浄化機能の低下、赤潮の発生、そして貧酸素化の助長といった図 2.4.3 に示すような負のスパイラルに陥っている、との仮説を設定した。

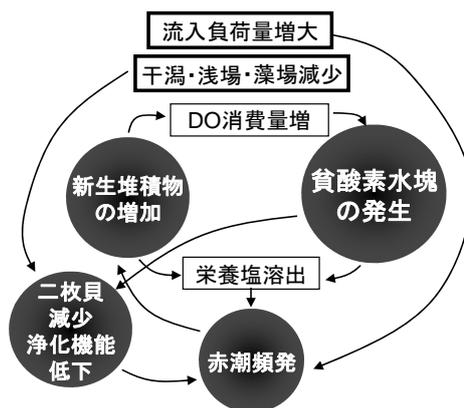


図 2.4.3 負のスパイラル

#### (4) 水質モデルによる仮説の妥当性の検討

仮説の定量評価及びその不確実性に関する検討のために、水質モデルによって各フェーズにおける物質循環量を評価した。

##### a) 水質モデルの概要

使用したモデルは、流動計算モデルと水質計算モデルから構成され、流域・河川から供給され流入有機物や栄養塩類等の移流・拡散、植物プランクトン及び動物プランクトンの生物生産等による反応、有機物の分解・沈降および底泥からの溶出・酸素消費を考慮している。シミュレーション計算の概要を以下に示す<sup>9)10)11)12)13)14)</sup>。

- 流動計算＋水質計算

- 計算範囲：三河湾全域

○計算格子：300m

○鉛直層分割：最大3層（上層0～平均水面下5m、中層5～10m、下層10m以深）

●流動計算

○対象季節：夏季・冬季（各季節において、計算開始から150日目(3, 600時間)では湾内の水質濃度が概ね定常状態となっていることから、150日目の物質循環量で評価する。）

○淡水流入量：各年代の夏季・冬季平均流量

○外海との境界条件：M2分潮の振幅(53.0cm)及び遅角(0.0°)

○水温・塩分の初期値及び外海との境界条件：公共用水域水質測定結果のうち、境界に近い地点の調査結果より設定した。

○諸係数：当該海域の既往計算事例から、水平渦動粘性係数、水平渦動拡散係数、鉛直渦動粘性係数、鉛直渦動拡散係数、海底摩擦係数を設定した。

●水質計算（図2.4.4参照）

○干潟の浄化機能：干潟・浅場域における現象としては、

- ・「有機物の沈降（シンク）」
- ・「アサリによる有機物の吸収（シンク）」
- ・「アサリの尿（無機物）による負荷（ソース）」
- ・「底泥からの無機物の溶出（ソース）」
- ・「海藻・海草・付着藻類による無機物の吸収（シンク）」

を考慮した。アサリ等の現存量と水質のバランスによってシンクかソースになるか、もしくは有機物を無機物に変換するポンプとしてだけの機能を果たすかが決まってくる。

二枚貝の浄化速度は、現存量×ろ過水量×水質×水温依存項で算定し、生物量・生物種および水温の影響を考慮した。

付着藻類や海草・海藻類の浄化速度は季節変化するものであり、浄化速度は、季節を代表する値を既往資料から設定した。

○水質計算項目：植物プランクトン、動物プランクトン、I-N、O-N、I-P、O-P、COD、DO

○干潟域の設定：平均海面下5m以浅と定義し、海図を元に設定した。

○流入負荷量：COD、T-N、T-P、I-N、I-P

○境界条件：動物プランクトンは中部国際空港アセスより、その他の項目は公共用水域水質測定結果より設定した。

○底泥からの溶出速度：運輸省第5港湾建設局(1987)のデータから設定。年代による変化は透明度の経年変化により換算した。

○諸係数：当該海域の既往計算事例から、植物プランクトンの光合成速度の最適温度・窒素、リンの半飽和定数・体組成比・死滅率・回帰率、動物プランクトンの体組成比・呼吸速度・回帰率・死滅速度・濾水速度、有機物の分解速度、沈降速度、DO消費速度を設定した。

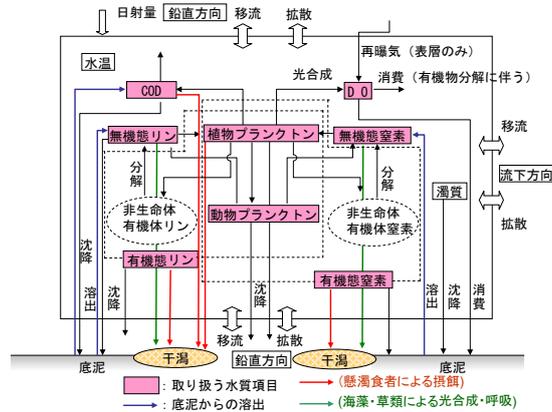


図 2.4.4 水質モデルの基本構成

b) 渥美湾における物質循環状況

貧酸素水塊が大規模発生している渥美湾エリア（夏季）を検討対象とした計算結果を図 2.4.5 に示す。DO 消費増大の主な要因は、新生堆積物が分解される際の酸素消費であり、貧酸素水塊の増加は、新生堆積物の増加に直接的に関係している。そこで、評価軸には新生堆積物の主要因である O-N 沈降水量及び内部生産量を用いた。本節では平均海面下 5m 以浅の領域を浅場と定義しており、O-N 沈降水量については、5m 以深であり、生物生態系が豊かな干潟・浅場域以外の海域に沈降する「悪い沈降」を対象としている。

この検討結果より、フェーズ 2 から 3 に移ることで、新生堆積物は顕著に増加しており、先に述べた貧酸素水塊発生の仮説を裏付けるものとなっている。また、流入負荷が多くても干潟・浅場におけるアサリ等二枚貝の浄化機能が高ければ、貧酸素水塊が顕在化しない物質循環を形成できる可能性があることが分かった。

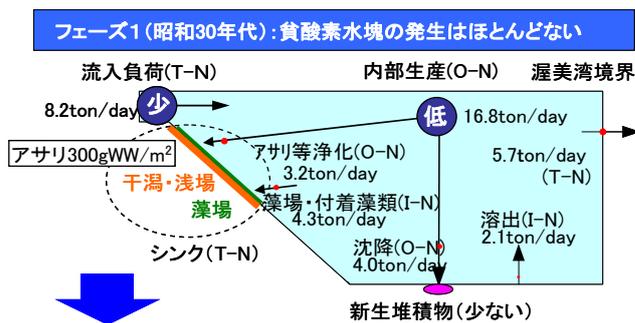


図 2.4.5 水質計算による物質循環量と物質循環像

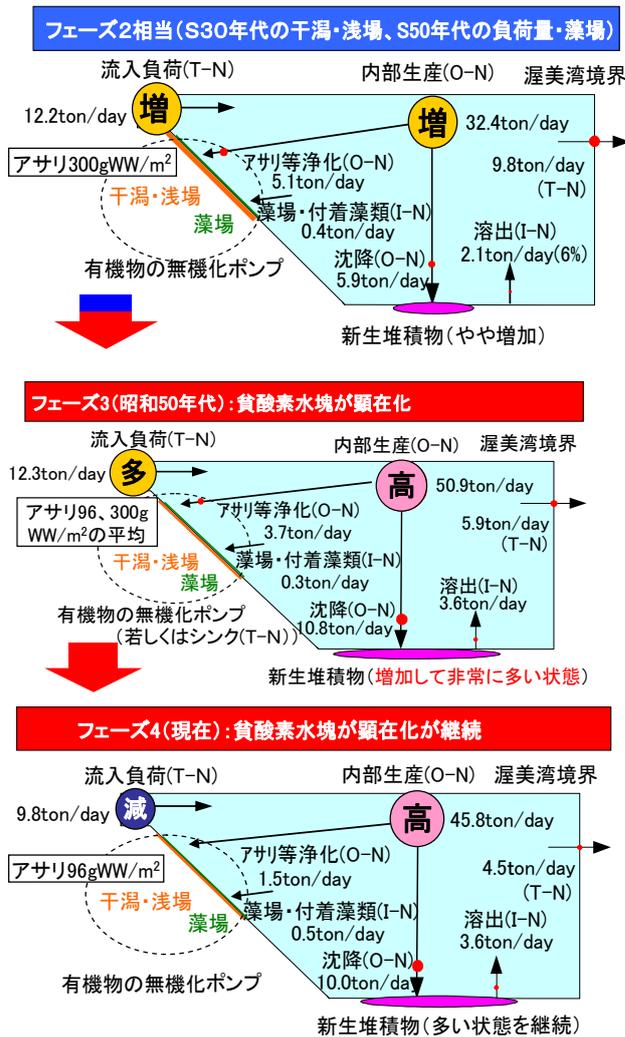


図 2.4.5 の続き 水質計算による物質循環量と物質循環像

## 2.4.3 環境再生の基本的方向の検討

### (1) 物質循環管理の施策検討枠組みと目標像

これまでの検討から、三河湾の生態系に直接的に影響を及ぼしている様々な要因は、貧酸素水塊の発生に集約できると考えられる。流域、水域で発生している現象は多くの要因が関係した複雑な機構を持っているが、「貧酸素水塊の発生」を機構の中心に捉えることで、関連する現象・物質から現象の全体像を把握することができ、複雑な現象に対する包括的な目標設定・施策の方向性の検討を簡易に行うことが可能になる。

また沿岸生態系にとって重要な貧酸素水塊の発生は、水産資源の現存量に直接影響することから、その制御を目標にすることで施策効果が見えやすくなるというメリットもある。

以上の観点から、三河湾の環境再生に向けた物質循環管理の目標像を、貧酸素水塊抑制を具体的に示す指標として、底層において高次の生物が生息しうる DO(最低 2mg/L)を取り上げ、その確保を目標とすると設定して議論を進めた (図 2.4.6 参照)。

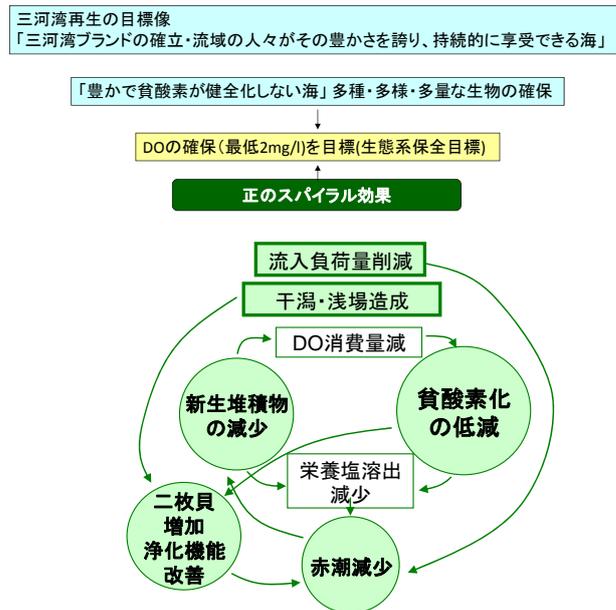


図 2.4.6 三河湾の環境再生の目標像

## (2) 施策効果の感度分析

マクロな物質循環という観点における、海域の貧酸素水塊抑制を通じた環境再生に向けては、栄養塩類の供給を減らす「流入負荷削減」、もしくは高次の生物量を増加させることによって消費を増やす「干潟・浅場の造成」の2つのフィールドの異なる施策が考えられる。この2つの施策について、水質モデルを用いて効果に関する感度分析を行った。干潟・浅場の造成は、5mより深い箇所を浅くすることを想定して計算した。評価軸にはO-N沈降量及び内部生産量を用いた。O-N沈降量については、前述の感度分析と同様、5m以深の海域に沈降する「悪い沈降」を対象としている。

干潟・浅場造成については、干潟・浅場が大きく消失した「渥美湾の湾奥エリア」（図2.4.7参照）で設定した。

「流入負荷削減」は現況より10%、20%、40%削減したケースを、「干潟・浅場造成」は現況より500ha、1000ha造成したケースを想定し、各ケースにおいて水質計算を行った。

計算結果を図2.4.8、図2.4.9に示す。渥美湾に着目した計算結果より、「流入負荷削減」

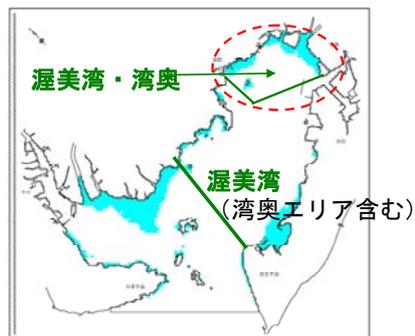


図 2.4.7 干潟・浅場の造成位置図

は内部生産を制限することによって「悪い沈降」を減少させる効果、「干潟・浅場造成」は生産された有機物をアサリ等二枚貝が除去することによって「悪い沈降」を減少させる効果があることが示唆され、2つの施策が「悪い沈降」を減少させるという同じ目標に向かって、異なるプロセスを有していることが確認できた。また、流入負荷削減 20%のケースと干潟・浅場造成 500ha のケースはほぼ同程度の効果が見込まれるなど、異なる効果の施策を統一的な指標（「悪い沈降」の量）によって評価・比較できる手法の可能性が示唆された。

さらに、この手法を用いた感度分析より、目標を同じとする施策間の異なるプロセスによる相乗効果を最大限に発揮できるように、バランスよく対策を進めることが必要であることを示した。

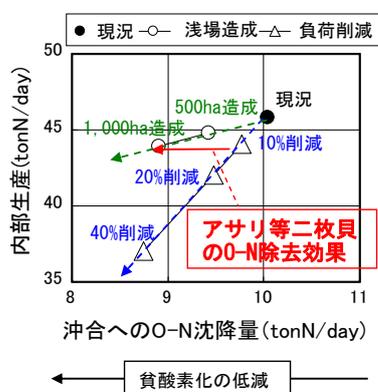


図 2.4.8 施策効果（内部生産、O-N 沈降量）【渥美湾：夏季】

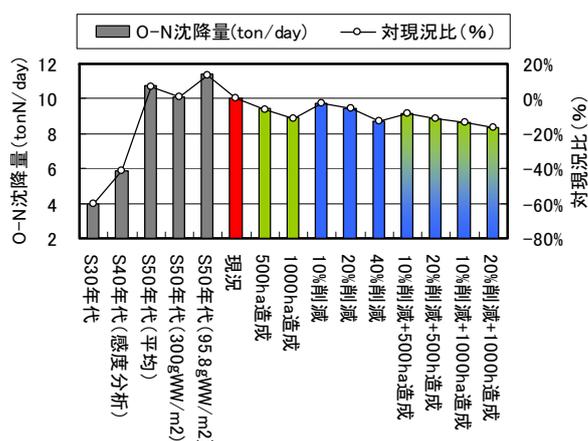


図 2.4.9 施策効果（O-N 沈降量）【渥美湾：夏季】

### (3) 期待される効果と今後の方向性の検討

本節においては、用いた水質モデルは 3 層モデルであること、底泥での酸素消費速度は年代毎に一定値で与えていることから、施策による底層 DO 改善効果そのものの評価には

至っていないが、貧酸素水塊の発生に直接的に影響する有機物沈降量（悪い沈降）及び内部生産量に着目することによって、各年代の物質循環量のバランスを把握し、施策の違いがもたらす物質循環形態の違いを感度分析したことは、今後の再生方策の議論に資するものと考えている。

一方、施策効果の感度分析により、「流入負荷削減」「干潟・浅場造成」の2つの施策について、有機物沈降量（悪い沈降）を減らすという効果に向けて異なるプロセスを有していることを確認した。これまでは、高次の生物によって消費される量を大きく上回る栄養塩類が供給されており、流入負荷削減が中心に行われていた。現状でも供給量は多い状態であり、今後も当然その必要性は高い。その上で、ただ供給量を減らせば減らす程いいかというところではなく、さらに豊かな環境を目指すためには、一定の栄養塩の供給は必要であるという見方もある<sup>15)</sup>。今後は、「流入負荷削減」と「干潟・浅場造成」という対策はどちらか一方のみを進めるのではなく、両者の効果による相乗効果を最大限に発揮できるように、バランス良く進めることが重要である。また、複数の施策の実施にあたっては、効果の発現時期・場所・内容を加味し、実施の時間的なタイミングについても検討を行っていく必要がある。

また流域・海域での機構のもつ不確実性をより確かなものにし、具体的な政策提言や政策実践に関わる意志決定に資することに重点を置きつつ、機構解明および施策効果把握のための、モニタリングの実施と評価を行い、さらに戦略的に、統合的な検討を進めていくことが重要である。

さらに海岸管理を考える上で、干潟の問題、閉鎖性水域の水質環境の問題に対処していくことが望まれるが、そのためにはこうした流域での水・物質循環を検討していくことが有効であることが分かった。

第2章では、第1章で論じた海岸法創設後の自然状況の変化について論じた。その結果、第1章で議論した高潮・津波・波浪災害への対応だけではなく、全国的に生じている海岸侵食問題や閉鎖性水域で生じている水質問題への対応では、物質の輸送を前提とした動的な現象の理解が重要であること、またそれらの諸情報を整理するスキームが必要なこと等を論じた。本論文では、断片的ではあるが、これらの実施例を示した。これらは第4章で論じる新しい海岸制度の確立に向けて、本質的かつ基礎的な概念である。また、これらの実践により得られた経験と知見が第4章に論じる新しい海岸制度の構築に深く結びついているものであり、さらに今後の海岸管理のあるべき姿についても示唆しているものである。

(参考文献)

- 1) 流域における物質循環の動態と水域環境への影響に関する研究, 国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告, 第28号, 775p, 2009.
- 2) 天野邦彦, 時岡和利: ダム貯水池における珪藻類によるケイ酸捕捉量の評価, 環境工学研究論文集, 第44巻, pp.539-545, 2007.
- 3) 中村元彦: 伊勢・三河湾における漁業の推移, 愛知大学総合郷土研究紀要, 第50輯, pp.239-252, 2005.
- 4) 鈴木輝明, 青山裕晃, 中尾和正: マクロベントスによる水産機能を指標として底質基準試案—三河湾浅海部における事例研究—, 水産海洋研究, 64(2), pp.85-93, 2000.
- 5) 武田一也: 三河湾の漁場環境の推移, 愛知大学総合郷土研究紀要, 第50輯, pp.231-238, 2005.
- 6) 黒田伸郎, 藤田光一: 伊勢湾と三河湾の貧酸素水塊の短期変動及び長期変動の比較, 愛知県水産試験場報告, 第12号, pp.5-12, 2006.
- 7) 石田基雄, 原保: 伊勢・三河湾における水質変動と富栄養化について, 愛知水試験報3号, pp.29~41, 1996.
- 8) 青山裕晃, 石田基雄, 木村仁美: 海況自動観測ブイ10ヶ年観測結果(1991~2000年)からみられる三河湾の赤潮と貧酸素.愛知水試研報9号, pp.1~10, 2002.
- 9) 運輸省第五港湾建設局三河港工事事務所: 昭和61年度三河港物質循環機構調査報告書, 174p, 1997.
- 1 0) 中田喜三郎: 生態系モデル—定式化と未知のパラメータの推定法—, Journal of Advanced Marine Technology Conference, Vol.7/8, pp.99-131, 1997.
- 1 1) 田口浩一, 中田喜三郎, 市川哲也: A3-D simulation of the lower tropic ecosystem in the Ise-Mikawa Bay estuary using a coupled physical and biochemical model. J. Adv. Sci. Tech., Vol.5, No.1&2, 1999, pp.49-62, 1999.
- 1 2) 鈴木輝明・寺澤知彦: 富栄養化海域における貧酸素水塊の数値解析による再現と工学的改善効果の検討—伊勢・三河湾における事例研究—, J. Adv. Mar. Sci. Tech., Vol.3, No.1, 1997, pp.81-102, 1997.
- 1 3) 堀江毅: 海域の物質循環過程のモデル化と浄化対策効果の予測手法について, 港湾技術研究所報告, 第26巻, 第4号, pp.57-123, 1987.
- 1 4) 青山裕晃, 鈴木輝明: 干潟上におけるマクロベントス群集による有機懸濁物除去速度の現場測定, 水産海洋研究, 61, pp.265-274, 1997.
- 1 5) 服部克也: 伊勢・三河湾におけるノリ養殖の現状と課題, 第3回伊勢・三河湾の環境と漁業を考える, 講演要旨集, 水産海洋学会, pp.105~107, 2007.

