

# 福島県いわき市菊多浦における河口閉塞と海岸線の変化

—1961年から2019年のオルソ補正画像を用いて—

長谷川優貴

本学地理・環境コース2021年3月卒業

## I. はじめに

近年、日本の砂浜海岸では数多くの箇所で侵食が進行しており、発生する要因のほとんどは何らかの形で人為的要因が関係している（宇多 1993）。高度経済成長以降、全国各地に湾港や漁港の防波堤の建設が進められ、これにより沿岸漂砂の連続性が断たれる、あるいは海岸への主な漂砂供給源であった大河川において広範に砂利採取やダムの建設が行われ、河川流出土砂が極端に減少したことなどに起因して海岸の侵食が著しくなった（宇多 1993）。

また、太平洋側では、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震・津波により、太平洋沿岸で甚大な被害が発生した（小林 2011）。津波浸水面積は青森県から千葉県まで太平洋沿岸6県62市町村で561平方キロと広大である。太平洋沿岸では、この津波の影響により侵食が進んだ海岸が多くみられる。

このように侵食が進行する海岸もあれば、上記でも述べた漁港の防波堤や大河川におけるダム建設などが影響し、海岸の形状に変化がみられる箇所もみられる。また、これらの現象は別々に生じるものではなく、様々な要因が重なって発生すると考えられている。海岸が変形したことにより、我々の社会生活に影響を与えることもある。

筆者は、その現象の一つとされる河口閉塞が人々に与える影響が大きく、長期間にわたり把握することが重要であると考えた。そこで、GIS解析ソフトを用いて福島県いわき市菊多浦に形成された砂浜を、1961年から2019年期の

15時期のオルソ補正画像を作成した。作成したオルソ補正画像を用いて、海岸線と砂浜面積の測定を行い、その変化量や砂浜の形状を把握することで経年変化を明らかにしようと試みた。

### 1. 河口閉塞とは

河口閉塞とは、河口において波による漂砂の河口部への持ち込みによって河口部に州が発達し、河口が砂州によって閉塞する現象を指す（静岡県交通基盤部河川砂防局河川企画課・河川用語集より）。河口のすぐ沖において発生する沿岸砂州は、形成された後は離岸堤の効果を示して、河口両岸よりの砂州の発達を助長し、長期にわたる閉鎖砂州を構成していく（樫木ら 1966）。この閉鎖砂州は、直接的な波による河口内部での漂砂堆積による河口閉塞とともに、著しい閉塞災害が生じる原因となるようである（樫木ら 1966）。

樫木ら（1966）は、一般に、河口の地形に与える要素は海からのものと河からのものに大別できるが、これらは別々に作用するのではなく、同時に作用するため河口における水理条件はきわめて複雑なものになると述べている。さらに河口閉塞が発生する主原因として①河川流による運搬土砂の堆積、②波による土砂の押し込み、③河口前面に形成される沿岸砂州、④沿岸漂砂による砂州形成の4つを挙げている。しかし、これは取り扱いの便宜上分けられたものであり、実際にはいくつかの現象が重なって生じていると考えられている。

## 2. 目的

本研究の調査対象である菊多浦は、河川上流部でのダム建設や、湾港、漁港の防波堤の開発など、人工改変に伴う海浜変形に関する研究が数多くなされてきた。

具体的には、仕切堤設置に伴う鮫川河口周辺の研究（清水ほか 1985）や、防波堤を伸ばしたことによる砂浜海岸の変遷を、空中写真の汀線変化解析を行った研究（野志ほか 2011）が挙げられる。いずれも、菊多浦に形成された砂浜の海浜変形を述べたものであるが、長期的かつ細かな海岸線の経年変化を述べてものは少なく、著者が調べた中では、野志ほか（2011）の1975～2006年における5時期の空中写真の判読とともに汀線変化解析を行った研究が最も期間が長いものであった。

菊多浦は、はじめに述べた東北地方太平洋沖地震・津波による影響を受けており、酒井ら（2012）の研究により津波直後の現地調査がなされた。菊多浦の砂浜には特徴がみられ、鮫川という河川が流入する河口部を閉鎖するように砂州地形が形成されており、年代別でその砂州地形が変形している。

そこで本研究では、過去の研究では触れられていなかった防波堤の建設以前の1961年から、2019年期の15時期の空中写真を取得し、オルソ補正を行った。15時期のオルソ補正画像を用いて海岸線と砂浜の面積を計測し、その変化量や砂浜の形状を把握することで経年変化を明らかにしようと試みた。

## II. 研究史

過去に行われた菊多浦の砂浜海岸に関する研究は、主に清水ほか（1985）と野志ほか（2011）、酒井ほか（2012）の3つが挙げられる。

清水ほか（1985）は、鮫川左岸に建設された勿来発電所の増設に伴い、増量される発電所放流水が鮫川内水面漁業に与える影響を低減する

べく、鮫川左岸の仕切堤と砂州開削部の建設による地形変化を述べたものである。仕切堤建設工事は1982年8月から始まり、1983年4月28日に砂州開削部の工事が終了し、同年5月9日に仕切堤により河口が分断された。仕切堤と砂州開削部の建設以前は、鮫川河口に砂州地形が閉塞するように形成されており、建設されたことで①河口通過流量の減少に伴う河口断面の縮小、②砂州開削部からの放流水による沿岸漂砂の遮断が考えられている。

しかし、鮫川河口は波浪、海浜流、潮汐、河川流、発電所放流水等の外力要因が複雑に絡んでおり、このような河口付近の地形変化予測や河口閉塞機構については未だに定量的な解明が十分にされていないのが現状であると指摘している。その結果、河口断面の縮小に伴う河口通過流量の減少が河口閉塞過程に重大な役割を果たしていることが明らかになった。

野志ほか（2011）は、ポケットビーチの一端に規模の大きな防波堤が伸ばされたことにより、波浪場が変化することで防波堤の遮蔽域では砂が堆積し、周辺海岸では侵食が起こることを述べている。その地形変化を明らかにするために、小名浜港のNOWPHAS波浪観測（2001～2007）のデータを用いて波高ごとの年間エネルギー比から波高1.67m、周期8.2s、波高N116.2度を求め、1975年から2006年期の5時期の空中写真を基に汀線解析と菊多浦の4地点でのふるい分け粒度分析が行われた。1975年から2006年の間に、菊多浦には離岸堤、人工リーフが建設され、汀線解析により経年変化が明らかになった結果、1980年から1990年代に汀線後退が発生し、原因は県境をまたいだ茨城県の平潟漁港の沖防波堤の建設によるものであることが分かった。海浜構成物は、菊多浦南東部の勿来海岸に特徴がみられ、細砂の割合が多く構成されていることが分かった。勿来海岸に建設された離岸堤と平潟漁港の沖防波堤が伸ばされたことにより、この地域では堆積が進んだとしている。

酒井ら(2012)は東北地方太平洋沖地震・津波によって侵食された菊多浦を津波前後の空中写真で比較し、津波後の海浜応答について調べたものである。津波により鮫川河口の砂州の砂が流出し、地震後の地殻変動により約0.5mの地盤沈下が生じた結果、砂浜全体の砂浜幅が狭まったことが明らかになった。津波後の空中写真より、侵食された鮫川河口砂州の復元は起きたが、砂浜の再形成に必要な砂が、鮫川河口右岸から隣接している海岸から運び込まれたことでその地域では侵食が起きたと述べている。

海岸線の変化を計測する事例に関しては、長谷川(1990)を参考にした。長谷川(1990)は、琉球列島久米島東部のハテノハマを例に、サンゴ周東の海岸線変化の原因は台風の影響が大きいことを指摘した。1962年から1984年までの州島の海岸線を、100m間隔で設定した65地点の積算量の平均値より、海岸線の変化をグラフに表した。しかし、州島の海岸線の変化と州島周辺の浅海域でみられる砂の堆積域の拡大・縮小と直接の関係は空中写真の判読からはわからないことを述べている。筆者は、海岸線の計測結果をまとめる際に長谷川(1990)の研究を参考にし、グラフに表した。

ここまでで述べたように、菊多浦の砂浜海岸や海岸線の研究は盛んにおこなわれている。その多くは汀線解析の経年変化や、防波堤建設後の海浜変形を述べたものである。

筆者は、野志ら(2011)の研究で扱われた1975年より以前の1961年から、東北地方太平洋沖地震・津波から8年が経過した2019年期中で15時期の空中写真を取得した。習得した空中写真をGIS解析ソフトによりオルソ補正を行い、長谷川(1990)を参考にした計測方法で海岸線の計測を行った。さらに、菊多浦の砂浜の面積を計測により砂浜の形状を明らかにした。

### Ⅲ. 調査地域の概要

#### 1. 福島県いわき市菊多浦

菊多浦は福島県南部に位置し、北端を竜宮岬により南端を鶴ノ子岬によって区切られた長さ約6.5kmのポケットビーチである(宇多 2011年)(図1)。菊多浦には流域面積600km<sup>2</sup>、流路延長58kmの鮫川、そして蛭田川と渋川が流入している。鮫川は阿武隈山系朝日山にどの源を持ち、鮫川と支流である四時川が合流した二級河川である。それぞれの上流に高柴ダム、四時ダムが建設されている。

#### 2. 菊多浦周辺の建築物

##### i) 小名浜港

小名浜港は、菊多浦より北東に位置する港であり(図1)、福島県最大の港として観光地にもなっており(福島県HP)、湾港法上の特定港に指定され、明治、大正から昭和初期に整備され始め現在に至る。かつて、小名浜港の位置には砂浜海岸が形成されていたが、開発が進むにつれて砂浜は消失し、図2のようになっている。

表1に小名浜港の施設ごとの建設年代と図中の小浜漁港と鶴ノ子岬に建設された勿来漁港の建設年代を記す。

##### ii) 高柴ダムと四時ダム

菊多浦には、二級河川である鮫川が流入している。鮫川は四時川と合流して菊多浦を流れており、菊多浦の砂浜海岸を形成する土砂の供給源となっている。その上流には高柴ダムと四時ダムが建設され、河口に運搬される土砂量を制限している(図1)。それぞれのダムの総貯水量は、高柴ダムが12,700千m<sup>3</sup>、四時ダムが12,100千m<sup>3</sup>であり、ともに洪水調節と工業用水の供給、後者は上水道用水の供給目的を加え(阿部2002)、その建設年代を表2に表した。

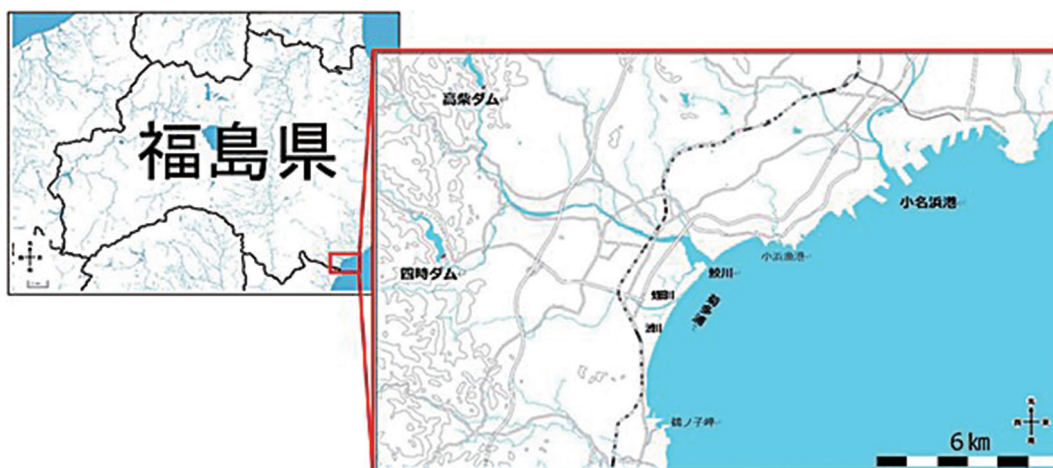


図1 福島県いわき市菊多浦の位置図



図2 小名浜港

### 3. 菊多浦に東北地方太平洋沖地震・津波が与えた影響

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震・津波の概要と、菊多浦への影響を小林(2011)の調査報告と酒井ら(2012)を参考にま

とめる。

東北地方太平洋沖大地震はマグニチュード9.0という日本における観測史上最大の地震動を記録し、東北地方から関東地方の広い地域に災害をもたらした。本震のあとマグニチュード



表 1 小名浜港の施設と小浜漁港、勿来漁港の建設年代

小名浜港	建築物名	竣工		
	1号ふ頭	1957年/6月	小浜漁港	1932年
	2号ふ頭	1966年/3月		1976年
	3号ふ頭	1968年	勿来漁港	1938年
	4号ふ頭	1970年/3月		1958年
	7号ふ頭	1980年/6月		
	5・6号ふ頭	2004年/4月		
	藤原埠頭	1975年/4月		
	大剣埠頭	1977年/4月		

表 2 高柴ダムと四時ダムの建設年代

	建築物名	着工	竣工
1962年/3月	高柴ダム	1937年	1962年/3月
1983年/8月	四時ダム	1970年	1983年/8月

7を上回る余震が5回発生し、南北500kmに及ぶ余震分布などの分析から震源域の長さは約400km、幅は約200kmで最大の滑り量は20m以上であると推定されている。宮城県北部で震度7を観測したほか、東日本の広域で大きな揺れを観測した。福島県では震度6強の観測がみられ、酒井ら（2012）によれば地震時の地殻変動により0.5mの地盤沈下が生じた。

津波は、国土地理院が発表した津波浸水面積は青森県から千葉県まで太平洋沿岸6県62市町村で561平方キロと広大であった。津波の遡上高さが3mを超える地域が多く、激甚災害地域では多くの木造建物が流出している。湾港の代表地点における津波の高さは小名浜港で3.3mを記録している。主に、目視調査による鮫川河口から南に広がる須賀海岸周辺では、津波が防波堤を越流し、防波堤下のアスファルト塗装の破壊、多数の木造家屋が流出し、損害が生じた。

#### IV. 解析方法

本研究で筆者は、国土地理院の空中写真を用いて菊多浦における河口閉塞と海岸線、砂浜面

積の経年変化を調べた。空中写真は、表3に記した15時期の空中写真を使用した。

解析に当たっては、まず、2003年の空中写真をGISソフトによりオルソ補正、接合を行った。その後、2003年のオルソ空中写真をもとに他の時期の空中写真も同様の作業を行った。最後に、オルソ補正と接合の終了した空中写真から海岸線の距離、砂浜面積を計測し経年変化を追跡した。また、砂浜海岸の形成に影響を与える菊多浦周辺の建築物の建設年代、潮位データをまとめ、河口閉塞、海岸線の経年変化との関連性を明らかにする。

以上の資料、方法を用いて1961年～2019年にわたる海岸線、砂浜の面積の経年変化とその特徴を調べた。

##### 1. 空中写真一覧

本稿で使用した空中写真は、国土地理院発行の1961年～2019年までの58年、15時期分である（表3）。筆者は、菊多浦の経年変化を詳細に調べるため、表3に記した15時期の空中写真を入手した。

表3 入手した空中写真一覧

	年代	撮影月日	間隔	撮影高度	縮尺
1	1961	11月14日	5年	3,200m	1/20000
2	1966	10月25日		4,250m	1/25000
3	1975	10月6日		2,020m	1/10000
4	1976	10月22日	1年	3,300m	1/20000
5	1982	5月6日	6年	1,800m	1/10000
6	1986	4月30日	4年	3,300m	1/20000
7	1991	11月9日	5年	3,800m	1/25000
8	1996	5月14日	4年	3,900m	1/25000
9	1998	11月10日	2年	6,000m	1/40000
10	2003	11月18日	5年	4,700m	1/30000
11	2009	10月30日	6年	2,790m	1/10000
12	2011	10月27日	2年	2,180m	1/8000
13	2012	11月16日	1年	1,531m	1/10000
14	2013	9月27日	1年	2,354m	1/10000
15	2019	4月28日	6年	3,065m	1/10000

## 2. 空中写真オルソ補正

国土地理院から入手した空中写真は、国土地理院の空中写真閲覧サービスから400dpiで入手した。この画像データには位置情報は付与されておらず、また、撮影高度・焦点距離・飛行機の傾き等、それぞれが異なる条件下の下で撮影されており空中写真同士が重なり合うことはない。そこで、地上基準点（以下GCP）を付与し、接合可能な画像データに変換するオルソ補正を行った。

オルソ補正には、地理学教室所有のPG-STEAMERを使用した。PG-STEAMERは、韓国Pixoneer Geomatic社で開発されたRS解析ソフトウェアで、画像の幾何補正やオルソ補正、GCPの設定、画像の接合を一度に行うことができる。

このソフトウェアを使用し、15時期の空中写真をオルソ補正した。空中写真・標高データ（以下DEM）・リファレンス画像を使用し、空中写真のオルソ補正画像を作成した。なお、空

中写真は国土地理院発行のものを使用し、DEMは数値標高モデル10mメッシュを使用した。さらに、リファレンス画像には2003年の空中写真に幾何補正とオルソ補正、接合を行ったものを使用した。DEMは、世界測地系1984・UTM54帯の座標を15時期の空中写真をオルソ補正する際の共通の座標となるように設定した。

2003年の空中写真をリファレンス画像として使用するために、写真1枚につき20点ほどのGCPを付与した。その際、国土地理院の地理院地図上（2003年の空中写真を表示）に点を落とし、その緯度経度座標をUTM座標に変換したものをGCPとして設定した。そして、オルソ補正前の空中写真にも上記のGCPと同じ位置に点を落とすことにより幾何補正とオルソ補正、そして接合を行い、その他の14時期のリファレンス画像として使用した。

図3は、作成した15時期のオルソ補正画像を一覧にまとめたものである（縮尺と方位は図4

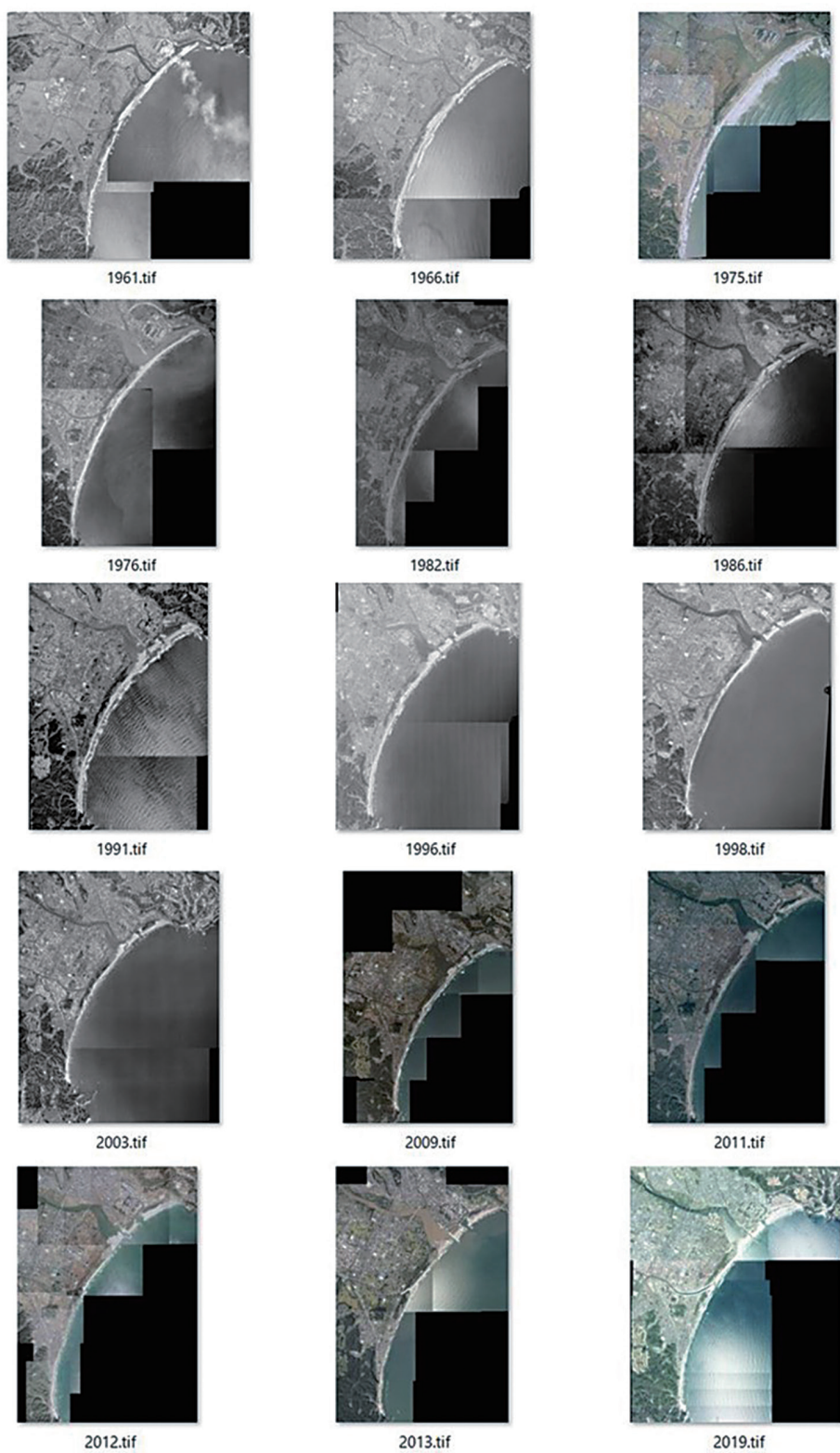


図3 15時期の空中写真オルソ補正画像の一覧

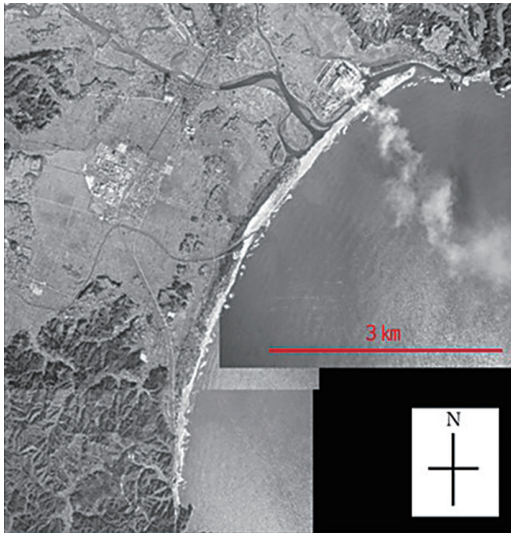


図4 1961年のオルソ補正画像

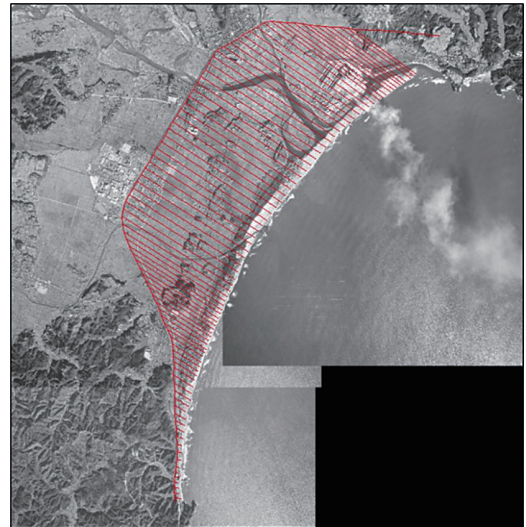


図5 1961年の海岸線計測

表4 小名浜の潮位データ

	年代	月日	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時
1	1961	11月14日	160	164	160	154	148	144	143	149
2	1966	10月25日	110	117	131	147	162	174	180	180
3	1975	10月6日	164	143	133	137	153	176	200	219
4	1976	10月22日	120	116	124	142	162	182	198	203
5	1982	5月6日	86	80	86	100	119	139	158	169
6	1986	4月30日	149	133	113	94	72	60	52	53
7	1991	11月9日	168	156	146	142	147	160	177	191
8	1996	5月14日	71	59	61	74	97	126	152	172
9	1998	11月10日	43	46	43	36	29	25	25	29
10	2003	11月18日	-17	-5	6	12	15	14	11	7
11	2009	10月30日	-32	-25	-13	2	16	26	29	23
12	2011	10月27日	-6	-18	-19	-10	8	29	48	57
13	2012	11月16日	23	10	-1	-4	2	16	34	50
14	2013	9月27日	8	12	13	12	9	8	8	11
15	2019	4月28日	4	4	2	-4	-11	-19	-29	-37

※ 凡例 …使用した空中写真の撮影時間

を参照。また、V章に示した海岸線と砂浜面積の計測例である図5と図7、そして図14から図19の縮尺に関しても同様である）。

### 3. 潮位データ

福島県いわき市には気象庁が小名浜で観測し

た潮位データがあり、1時間ごとの潮位を知ることができる。小名浜は、本研究で解析を行った菊多浦に近接しており、海岸線の経年変化を調べる際の参考材料として使用した。そして、オルソ補正に使用した空中写真の撮影年月日から潮位データの表を作成した（表4）。この表



は、取得した潮位データと空中写真の評定図から判明した撮影時間をまとめたものである。

## V. 結果

### 1. オルソ補正画像を用いた海岸線と砂浜面積の計測方法

筆者は、上記の解析方法により15時期のオルソ補正画像を作成した。作成した画像を用いて菊多浦における海岸線と砂浜面積の計測をPG-STEAMERのImage-composerの機能を使用して行った。まず、それぞれの計測方法と注意した点を本研究の計測の基準となった1961年の例をもとに述べる。

#### i) 海岸線の計測方法

1961年のオルソ補正画像上に、計測の基準となる基線を設定した。基線は、1961年から2019年まで変わらない位置に建設されている常磐線の線路を基点とした。その際、座標を表示する機能を用いて100m線を引くごとに表示された座標を記録しつつ、海岸線を囲むように基線を設定した。

次に、基準となる線上に記録した座標から海岸線までの距離を図5中の南西から北東にかけて86本の計測を行った。その際、主に2点のことに注意した。

- ①各線が平行になるように引いた。
- ②各時期の潮位に合わせた計測を行った。

①について、筆者は作業当初に海岸線と直行するように計測を行っていた。しかし、海岸線の経年変化を明らかにするためには同じ位置での計測が必要だと考え、各線が平行するように計測を行った。

②は図6を用いて説明する。図6は1975年の蛭田川河口の接合箇所で見られたものである。図6の中央に南西から北東にかけて砂浜が形成されており、波が打ち寄せているのが確認できる。この砂浜と、波打ち際の間にある砂浜より色が濃くなっている線が波の到達したところであり、当時の潮位を表したものである(表4参照)。この線は15時期全てのオルソ補正画像にみられ、筆者はこの線を海岸線として設定し距離の計測を行った。筆者は以上のことに注意し、合計で1290本の計測を行った。

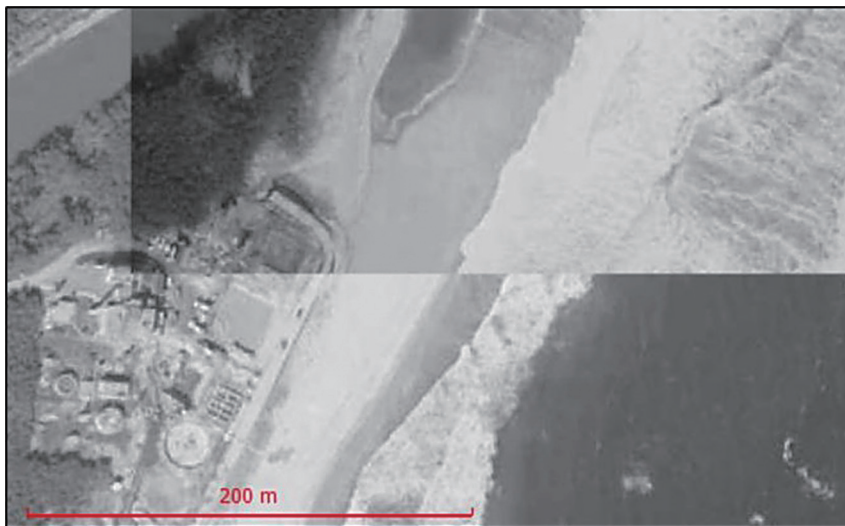


図6 1975年のオルソ補正画像の砂浜接合部

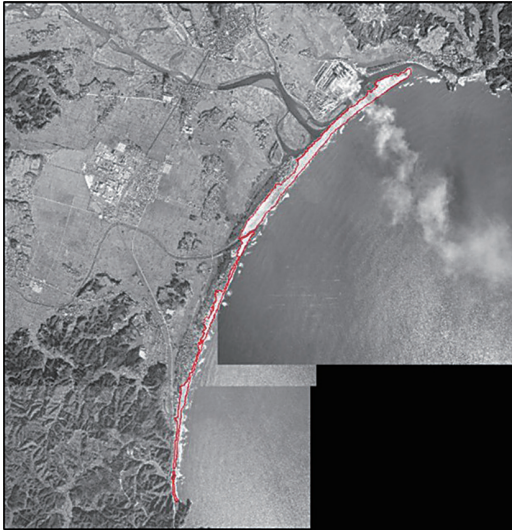


図7 1961年の砂浜面積の計測例

## ii) 砂浜の面積の計測方法

面積の計測も海岸線の計測と類似した方法で行った。図7は、砂浜をポリゴンで描いたものである。その際、ポリゴンの面積を測る機能を用いて記録し、面積の総量の経年変化を明らかにした。こちらも注意した点が2点あり、1つは海岸線を計測の注意点②で、筆者が設定した海岸線に沿うようにポリゴンを描画したことである。もう1つは、年々建設が進む護岸は砂浜には含めずに計測したことである。

筆者は以上の方法を用いて海岸線、砂浜面積の計測を行い、得られた結果をまとめた。

## 2. 海岸線の計測結果

海岸線の計測結果より、海岸線の変化に特徴がみられたものを抜粋し、その変化量を1961年から2019年の58年間で5つの時期で分けたものをグラフに表した。グラフは長谷川(1990)を参考に作成した。

- i. 1961年から1976年
- II. 1976年から1986年
- iii. 1986年から1998年
- iv. 1998年から2009年

## v. 2009年から2019年

グラフの概要を説明した後、計測の結果をまとめることにする。

図8は図5の南西から北東にかけて1から86本の計測を行い、その変化量をグラフに表したものである。変化量の単位はmで統一されており、計測線1から86の幅は15時期の距離を平均して約6400mであった。例として図中8の横軸の番号は海岸線の計測地点を表しており、筆者はその区間を酒井ら(2012)の対象区域より、以下の様にまとめた。

- ① 1から27は勿来海岸から関田海岸の渋川河口右岸（後述渋川河口右岸）
- ② 27から46は関田海岸の渋川河口左岸（後述渋川河口左岸）から須賀海岸の蛭田川河口（後述蛭田川河口）
- ③ 46から60は須賀海岸
- ④ 60から66は鮫川河口部
- ⑤ 66から71は1982年以降の計測時に写真上でみられた仕切堤から砂浜開削部左間（1961年から1976年では植田佐糠海岸と記述）
- ⑥ 71から86は砂浜開削部右から植田岩間海岸

以上のことをふまえ、1961年から2019年までの計測結果をまとめる。

## i) 1961年から1976年の計測結果

1961年から1976年の変化量は図8のような結果となった。菊多浦全体で砂浜が前進しており、特に植田佐糠海岸から植田岩間海岸での前進が目立ち、最大で27mの前進がみられた。須賀海岸では7～10m前進していることがわかった。

蛭田川河口では最大20m前進し、渋川河口左岸にかけて変化量は緩やかなものとなっていることが読みとれる。

渋川河口右岸から勿来海岸間では3～16mの幅で変化していることから、1961年から1976

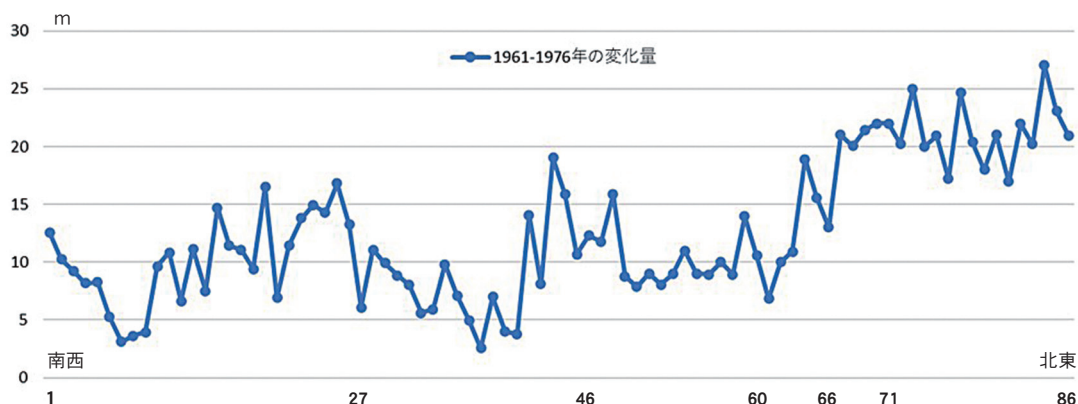


図8 1961年から1976年における海岸線の計測結果

(横軸の数字は、測線番号を示す。以下図13まで同様)

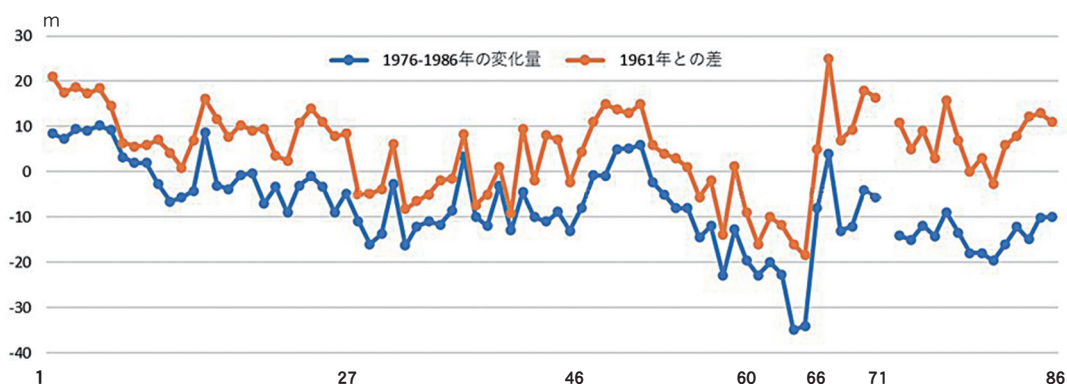


図9 1976年から1986年における海岸線の計測結果

年の海岸線は前進傾向にあることが明らかになった。

## ii) 1976年から1986年の計測結果

図9の線aは図8の変化量と同様のものであるが、図(1976～1986)から新たに線bを追加した。

これは図9の線aと図8との変化量の差を表したものであり、この例でいうと1961年から1986年までにどのくらい海岸線が変化したかが表されている。仮に1961年から1976年の間に10m前進し、1976年から1986年には-5mの後退があったとする。その場合、1986年は1961

年から5m砂浜が前進したことになり、その値をグラフに表した。以降の図10～11にもこの線bを提示する。1976年から1986年は、全体的に海岸線が後退していることがわかった。

砂浜開削部右から植田岩間海岸では-10～20mの後退がみられ、1982年に建設が始まった仕切堤と砂浜開削部により、砂浜が消失したことで一部計測が不可能なところがあった。

1976年から1986年の計測結果の中で、鮫川河口部での変化量が最も大きく、-34m後退していることがわかった。これは後の砂浜面積の計測結果の結果でも述べるが、鮫川河口部に形成されている閉鎖砂州の形状が変化したこと

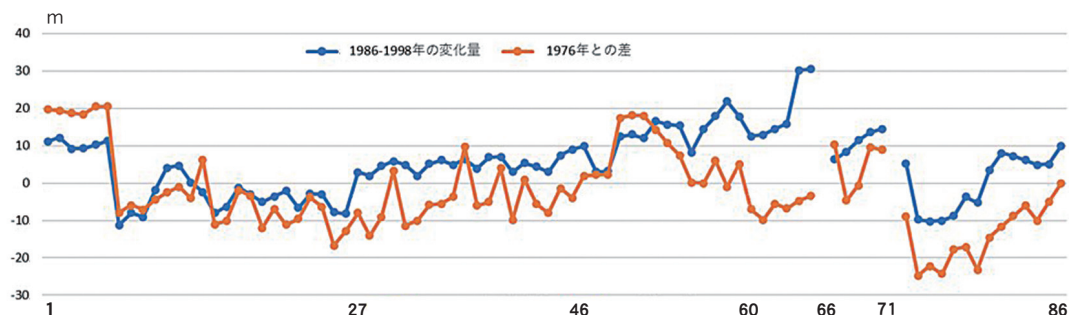


図10 1986年から1998年における海岸線の計測結果

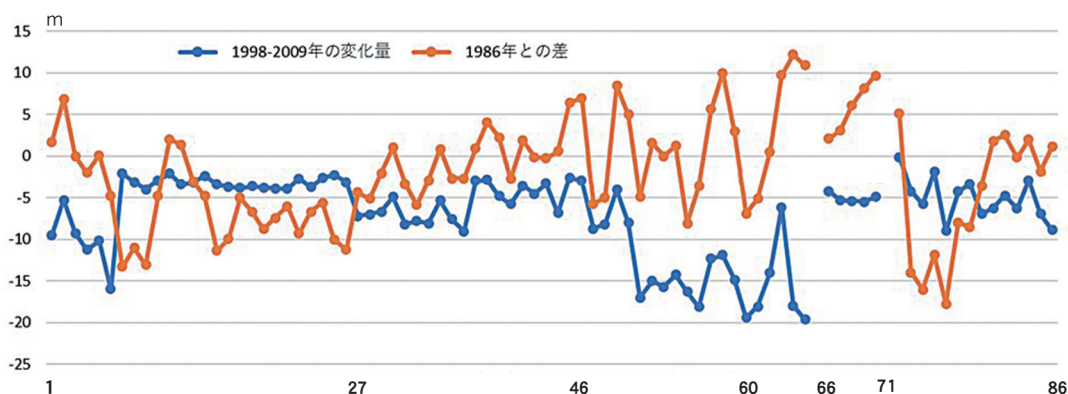


図11 1998年から2009年における海岸線の計測結果

より、このような計測結果が出たと考えられる。

大きな後退がみられた鮫川河口から須賀海岸にかけて変化量は徐々に上昇し、蛭田川河口の一部では6mほど前進したところもみられた。

蛭田川河口から渋川河口左岸でも海岸線が後退し、最大で-16mの変化がみられたところもあった。

1976年から1986年の計測結果は、全体的に海岸線の後退がみられたが、1961年との差により鮫川河口部の砂州地形の変化による後退を除けば、1961年から1986年は海岸線が前進していることが分かった。

### iii) 1986年から1998年の計測結果

1986年から1998年の計測結果は図10のよう

になった。

鮫川河口部で海岸線の前進がみられ、最大で30m変化しており、1976年から1986年で鮫川河口部に形成された閉鎖砂州の形状の変化により、-32m後退していた海岸線が1986年の位置に前進したことが読み取れる。

砂浜開削部から植田岩間海岸では、-10～10mの値で変化しており、砂浜開削部付近はわずかに前進した。

渋川河口左岸から須賀海岸にかけては3～20m海岸線が前進したことがわかったが、1976年との差から海岸線は、1976年から1998年にかけて後退したことが読み取れる。

蛭田川河口から渋川河口左岸では、2～10mの変化がみられ、1976年から1986年で海岸線



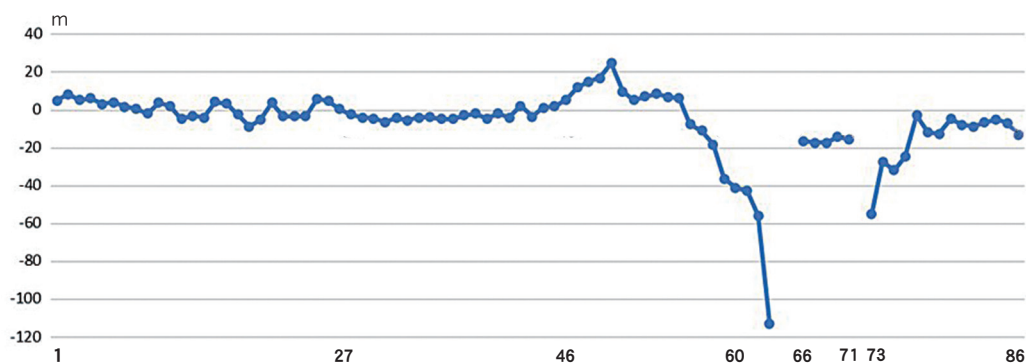


図 12 2009年から2011年における海岸線の計測結果

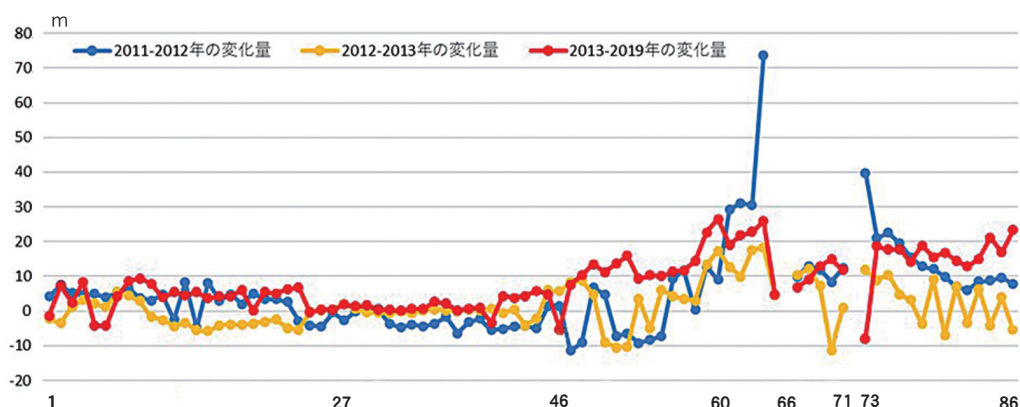


図 13 2012年から2019年における計測結果

が後退の傾向がみられたことから、前進と後退を繰り返していることがわかった。

わずかに前進していた須賀海岸から渋川河口左岸を境に、渋川河口右岸から勿来海岸の海岸線は-2~-10m後退していることがわかり、勿来海岸の一部で10mの前進がみられた。

#### iv) 1998年から2009年の計測結果

1998年から2009年の海岸線は、全体を通して後退傾向にあることが分かり、特に須賀海岸から鮫川河口部の海岸線の後退が目立ち、最大で-20m変化したことが読み取れる。しかし、閉鎖砂州の形状の変化により大きく後退してい

た1986年との差をみると、10mほど前進しているところがあった。

仕切堤から植田岩間海岸では、-2~-10m後退しており、一部ほとんど変化していない計測点もみられた。

蛭田川河口から渋川河口左岸でも-3~-9m海岸線が後退しているが、1986年と比べてわずかに前進しているところもみられた。

渋川河口右岸から勿来海岸にかけて-3~-4mの後退がみられ、1976年から1986年の変化量と1986年との差より、海岸線が徐々に後退していることが計測結果に表れた。そして、勿来海岸の一部で-5~-15m海岸線が後退して

いることがわかった。

#### ⅴ) 2009年から2019年の計測結果

2009年から2019年の計測結果は、2009年から2011年の変化量が大きく、1枚の図にした際に2012年から2019年までの計測結果の変化が読み取りづらくなった。そこで筆者は、2009年から2019年期の図を2009年から2011年の変化量と2012年から2019年の変化量の2つの図にまとめた。

2009年から2011年の計測の結果、鮫川河口部の海岸線が大きく後退していることが分かる。1976年から1986年の計測結果と同じように、鮫川河口に形成された閉鎖砂州の変形によりこのような計測結果となり、最大で-113m後退した計測地点があった。その計測地点から、鮫川河口左岸までの海岸線が-10~-58m後退した。砂浜面積の計測結果でも述べるが、鮫川河口右岸にて、一部砂浜が消失していたことがわかった。そして、砂浜の消失により、鮫川河口右岸に建設された護岸の位置まで海岸線が後退していた。

仕切堤から植田岩間海岸の間でもお海岸の大きな後退がみられ、鮫川河口部ほどではないが形成されていた砂浜の変形により、-10~-53mの後退がみられた。

須賀海岸では3~23mの前進がみられ、1986年から1998年時に後退していた蛭田川左岸の海岸線が前進の傾向に転じた。

蛭田川河口から渋川右岸の海岸線-5mの変化がみられ、1998年から2009年の変化量より、徐々に海岸線が後退していることがわかった。

渋川河口右岸から勿来海岸の海岸線は、-10~10mの値で変化しており、1998年から2009年の変化量にて-5~-15m後退していた勿来海岸では、2009年から2011年の間にわずかに前進したことがわかった。

2011年から2012年の計測結果より、鮫川河口部の海岸線が前進し、最大で73mの変化量

であった。2009年から2011年で-113m後退した計測点より、2009年から-40m後退した位置まで海岸線が前進した。

仕切堤から植田岩間海岸にて8~40mの変化がみられ、砂州の変形によって後退していた海岸線が前進したことがわかった。鮫川河口部と同様に、砂州地形の変形によって大きく後退していた海岸線が前進していることが計測結果より読み取れる。

須賀海岸の蛭田川河口あたりでは最大-10mの変化があり、蛭田川河口前に形成されている砂浜が侵食されていた。

渋川河口左岸から蛭田川河口にて-5mほどの後退がみられ、2009年から2011年にかけて侵食が進んでいることが分かった。

渋川河口から勿来海岸では最大10m変化したところがあり、この地域全体の海岸線が前進したことが読み取れる。しかし、渋川河口右岸付近では-5mの後退がみられたところがあった。

2012年から2013年の変化量から、2011年から2012年に引き続き、鮫川河口部での前進がみられた。最大で18mの変化があり、2011年に大きく後退した計測点の値は上昇し続けていることから、2009年から-22m後退した位置まで海岸線が前進した。

仕切堤から植田岩間海岸では-10~12mの値で変化しており、2012年と比べると変化量は小さかったが、2011年からの変化量から前進の傾向があることが分かった。しかし、砂浜開削部付近の値は減少していた。

須賀海岸の海岸線は-10~10mの変化量を示しており、後の砂浜面積の計測結果でも述べるが、蛭田河口に形成された砂浜の海岸線の変化であることがわかった。

蛭田川河口から渋川河口左岸までの海岸線は変化がほとんど見られず、2012年から海岸線の位置が変化していないことがわかる。後の砂浜面積の計測でも述べるが、2009年からこの一帯

で消失がみられ、砂浜の護岸位置まで海岸線が後退していた。護岸の位置まで後退した海岸線の計測は本来、計測値の値が変動しないはずだが、実際には、変化量が0.5m前後の値を示していた。これは、今回の計測点の誤差が表れたものであると考える。

渋川河口右岸から勿来海岸にかけては-6mほど海岸線が後退しており、後の砂浜面積の計測結果から砂浜が消失していることがわかった。

2013年から2019年の海岸線は全体的に前進傾向にあり、2011年から2019年かけて鮫川河口部の海岸線が前進していた。最大で23m前進し、2011年に-113mの変化がみられた計測点は2019年からわずかに前進した位置まで戻ることがわかった。

仕切堤から植田岩間海岸では10~22mの値で変化しており、2011年から2019年にかけてこの地域は海岸線が前進傾向にあることが読み取れる。一部-10mの値を示しているが、これは2013年に砂浜開削部に形成された砂州地形の変形によるものである。

須賀海岸の海岸線が前進しており、特に2011年に砂浜の消失により鮫川河口右岸の護岸まで後退していた海岸線が14~27mの値で変化していることがわかった。

蛭田川河口から渋川河口左岸の間では、蛭田川河口付近の値は5~8mの変化を示しているが、他はほとんど海岸線に変化はみられなかった。

渋川河口右岸から勿来海岸では、河口付近では変化がみられないところがあったが、そこから4~9mの値で海岸線が前進していることが分かる。勿来海岸の砂浜南東部では-4~9mの値で変化していることが分かった。

以上が1961年から2019年の海岸線の計測結果である。次に、砂浜面積の計測の結果を海岸線の計測結果と同じく、5つの時期に分けたものをまとめる。

### 3. 砂浜面積の計測結果

菊多浦の砂浜海岸に海岸線の位置を考慮してポリゴンを描画し、1961年から2019年期の15時期の砂浜面積とその形状を明らかにした。海岸線の計測結果と同様に5つの時期に分け、菊多浦に形成された砂浜の形状の特徴をまとめる。その際、野志(2011)の研究より菊多浦に建設された離岸堤や人工リーフ、鮫川上流のダムなどの建設年代を分割した時期ごとにいつ建設されたのかを記述する。

以下の表は、計測した砂浜の面積とその変化量を表したものである。

#### i) 1961年から1976年

1961年と1976年の砂浜面積の計測結果を並べ、図14のようになった。

1961年の計測結果より、菊多浦に流入する鮫川の河口の内側に形成されていた三角州が1976年にはほとんど消失していることがわかる。筆者が計測した1966年にはこの三角州は形成されていたが、1975年には1976年の計測と同様にみられなかった。三角州が消失した1976年の図では、1961年と比較し、鮫川河口右岸の砂州地形の幅が広がっていることがわかる。

鮫川河口から植田岩間海岸までを砂州地形が河口を閉鎖するように形成されており、これが本研究でその経年変化に注目した閉鎖砂州である。この閉鎖砂州により、鮫川河口から流れが大きく北に蛇行していることが分かり、1976年の図を見ると、北に蛇行した河道の幅が広がっている様にみえる。

鮫川河口から蛭田川間の須賀海岸の砂浜が縮小しており、計測時に1961年から護岸工事の形跡がみられ、1976年には護岸が完成していた。この図には使用していないが、筆者が行った1966年と1975年の砂浜面積の計測では、護岸が建設されていった過程が見て取れた。

また、蛭田川河口の砂浜の変形がみられ、計測年代によって砂浜を区切る河川流路が変化し

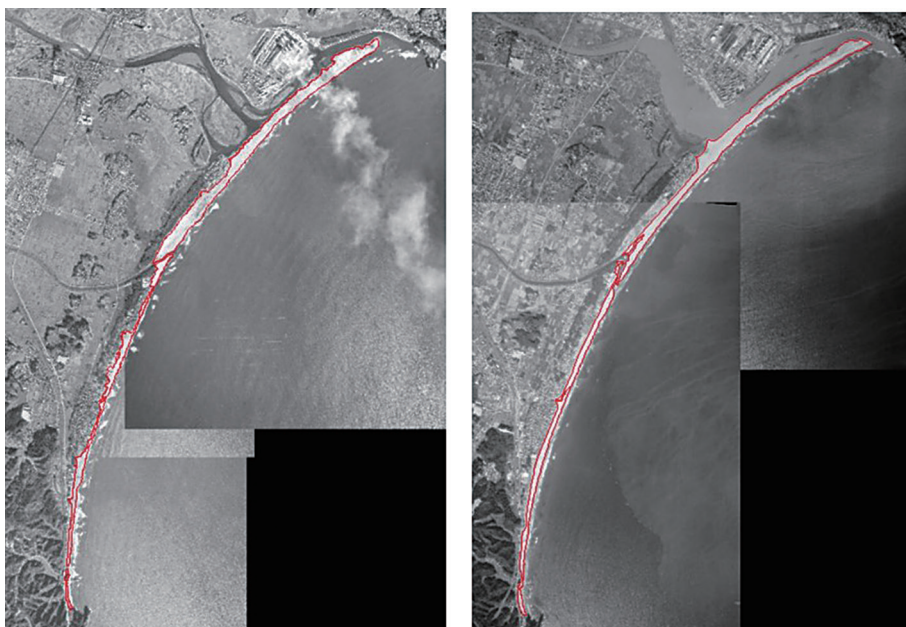


図14 1961年(左)と1976年(右)の砂浜面積の計測

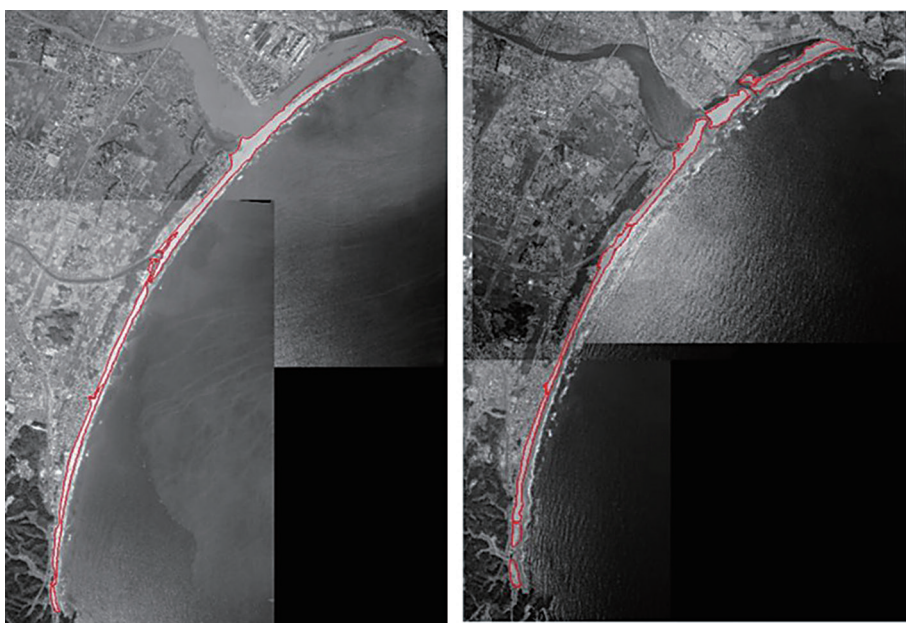


図15 1976年(左)と1986年(右)の砂浜面積の計測

ていた。

鮫川上流部に建設された高柴ダムは1930年から着工し、1961年から1976年間の1962年の3月に完成した。鮫川支流の四時川上流の四時ダ

ムは1970年に着工し、1961年から1976年の間には完成していなかった。四時ダムが完成するのは1983年の8月であった。つまり、菊多浦の土砂の供給減である鮫川の土砂量は、1930年の高



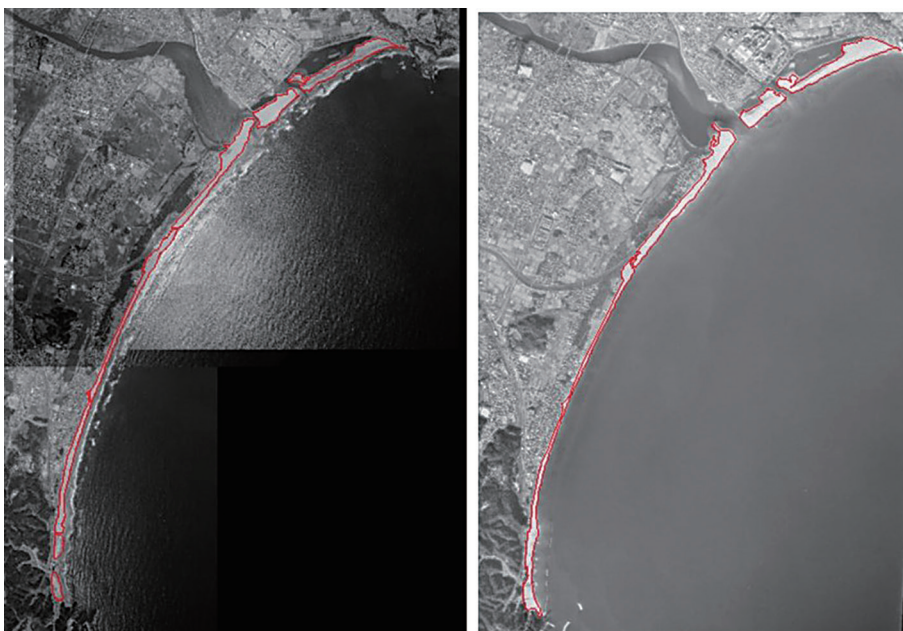


図16 1986年(左)と1998年(右)の砂浜面積の計測

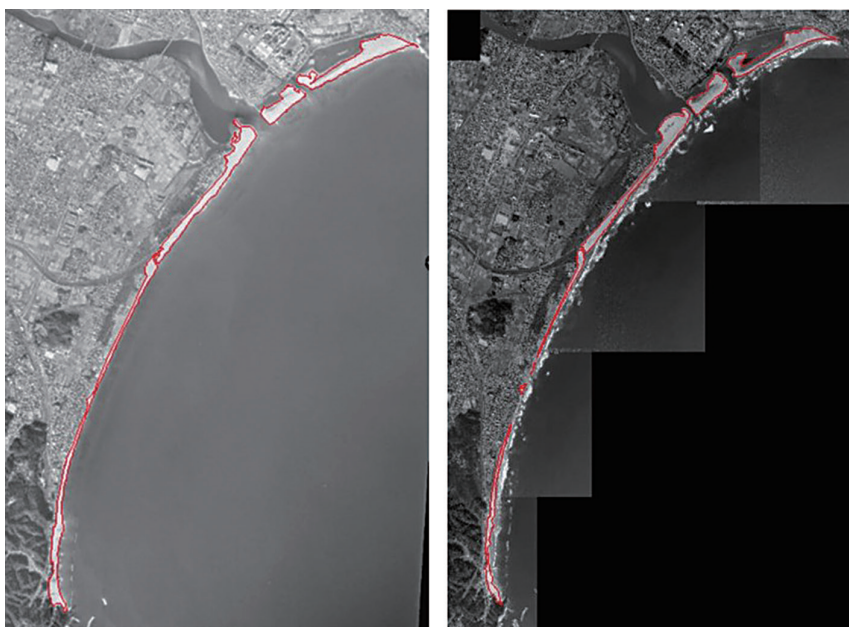


図17 1998年(左)と2009年(右)の砂浜面積の計測

柴ダムの着工から徐々に減少したことになる。

ii) 1976年から1986年  
1986年に鮫川河口部の砂州が変形している

ことがわかり、1961年から1976年にみられた  
河川の放流口に砂が堆積している様子がみられ  
た。これは清水ら(1985年)は、1982年の8月  
から工事が始まった鮫川河口右岸の仕切堤と、

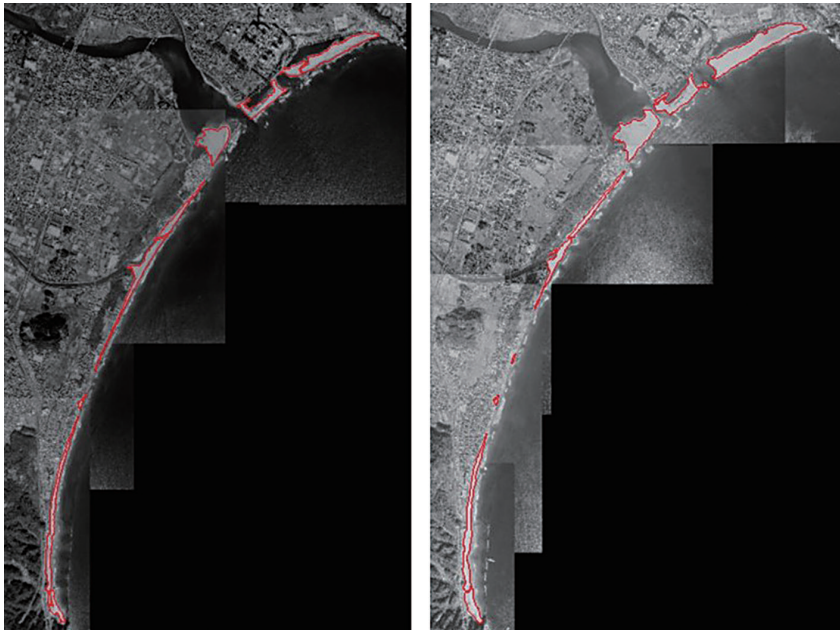


図18 2011年(左)と2012年(右)の砂浜面積の計測

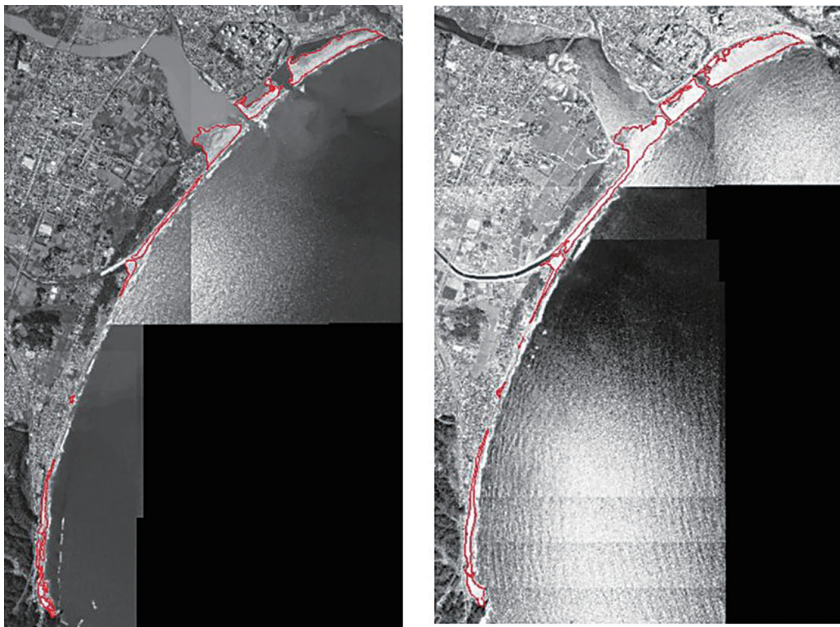


図19 2013年(左)と2019年(右)の砂浜面積の計測

植田岩間海岸の砂浜開削部の建設によるものであると述べている。1983年の4月28日に砂浜開削部の建設が終わり、同年5月9日に仕切堤の建設が完了した。

この図15では1983年に建設された仕切堤と砂浜開削部の建設により、鮫川河口の砂州地形が変形したように見えるが、筆者は1982年の砂浜面積の計測もしており、その時点で砂州地

形は河川により分断されていたことが分かった。さらに、分断された河口の沖に小さな三角州がみられた。使用した空中写真の撮影年月日は1982年の5月6日であり、仕切堤の工事が始まる以前のものである。その時点で、砂州地形の分断と

このことから、1976年から1982年には河口の砂州地形が河川により分断され、仕切堤と砂浜開削部の建設以降に主に鮫川河口部から植田岩間海岸の砂州地形が変形したと思われる。後述では、仕切堤によって区切られた植田岩間海岸の湾内を旧河道と記述する。

野志ら(2011)より、勿来海岸の砂浜南東部に離岸堤が建設されたことでバームが形成されたと述べている。また、この地域の砂浜の海浜構成物は、細砂の割合が多く、離岸堤の設置によって入射する波がせき止められ、その波の遮蔽域に砂が堆積したことが原因とされている。さらに、茨城県の平潟漁港の沖防波堤が伸ばされたことが、この勿来海岸にみられる砂の堆積を助長していると指摘している。

### iii) 1986年から1998年

1998年の砂浜の形状を見ると、1986年と比べ砂州地形が縮小していることがわかる。仕切堤から植田岩間海岸では、砂州地形の変化はほとんどみられなかったが、湾内に堆積する砂が

砂浜開削部に収束していた。

蛭田川河口から鮫川河口にかけての砂浜の幅が広がる様子がみられ、海岸線の計測結果でもこの地域の海岸線が前進していた。

勿来海岸に形成されたバームは、堆積が進み砂浜面積の変化量から、砂浜の面積が増えたことがわかる。

### iv) 1998年から2009年

2009年の砂浜をみると、浜川河口付近の砂浜が消失しているのがわかる。計測時に菊多浦に建設された護岸は、砂浜をポリゴンで描画する際に除外したため、このような結果となった。

野志ら(2011)は、2004年から2009年の間に勿来海岸の離岸堤から鮫川河口右岸の沖に人工リーフが建設され、この研究で使用されていた2006年の空中写真の海岸線に沿う白濁域は人工リーフ上での碎波に起因すると述べている。筆者が2003年の砂浜を計測した際はみられなかった。

浜川河口左岸付近の砂浜が消失している様子が見て取れ、勿来海岸までの砂浜も侵食が進んでいたことがわかった。

### v) 2011年から2019年

2011年の砂浜は2009年と比べ、鮫川河口部の砂州地形が著しく縮小していることがわか

表5 1961年から2019年間で9時期の砂浜面積の変化量

	砂浜面積(m <sup>2</sup> )	変化量
1961	495781.3354	
1976	478747.0939	-17034.2415
1986	462560.5124	-16186.5815
1998	470309.4982	7748.9858
2009	421535.4676	-48774.0306
2011	358931.5348	-62603.9328
2012	362705.4632	3773.92835
2013	367378.8773	4673.41409
2019	394392.2966	27013.4193



り、海岸線の計測結果でもこの鮫川河口部で大きく後退した値を示していた。さらには、1961年から2009年の間にはみられた鮫川河口右岸の砂浜が消失していることが見て取れる。

蛭田川河口右岸から渋川河口左岸の間で砂浜が侵食された状況が見て取ることができ、渋川河口右岸から勿来海岸までの砂浜は、2009年と比較して変化はさほどないようにみえる。

2011年の砂浜面積の計測結果から、砂浜が侵食されたことにより1961年から2019年の間で最小値の砂浜の面積となった。

2012年の砂浜面積から、鮫川河口部に注目すると、大きく侵食された砂州に砂が堆積したことがわかる。鮫川河口右岸で消失した砂浜は2012年時にはみられなかったが、須賀海岸にて蛭田川河口左岸からわずかに砂が堆積していることがわかる。

蛭田川河口右岸から渋川河口までの砂浜は2011年と比べ、さらに侵食が進んでいることがわかる。2012年から2013年の海岸線の変化量でもこの地域では変化がみられなかったことは、このことに起因すると思われる。

旧河道内に砂が堆積しており、仕切堤から植田岩間海岸の砂州地形の砂浜面積増えたことが見て取れる。

2009年と2011年の砂浜面積の計測結果より、勿来海岸の砂浜に変化はほとんどみられなかったが、2012年の砂浜をみると砂が堆積していることがわかる。

2013年の砂浜をみると、2012年に続き鮫川河口部の砂州地形が砂に砂が堆積しており砂浜面積の変化量から、2012年からわずかに増えたことがわかった。

蛭田川河口右岸から渋川河口周辺までの砂浜は、蛭田川河口付近の砂浜を除き、消失していることが図から読み取れる。このことは、2012年から2013年の海岸線の変化量にも表れていた。渋川河口にわずかな砂浜がみられるのは、渋川から土砂の供給があるだけでなく、計測時

にみられた渋川河口を覆う様に建設された護岸により、砂の侵食を防いでいるのではないかと思われる。

2019年の砂浜は、2011年に大きく後退した鮫川河口部の砂州地形が2012年から2013年の間で堆積が進み、消失していた鮫川河口右岸の砂浜が元の状態に戻ったことが見て取れる。砂州地形が完全にではないが鮫川河口を閉鎖するように形成されていた。1961年にみられた閉鎖砂州は、1983年の仕切堤の建設により河口中央部で分断され、2019年には再び鮫川河口を閉塞するように形成されていることがわかった。

旧河道の砂浜開削部からの放流域を除いた地域で砂が堆積していることが図からみてとれる。2012年から徐々に堆積していき、2019年には旧河道内を満たすように砂浜が形成されていた。

蛭田川河口から渋川河口まで、2011年から2013年の間で消失していた砂浜わずかに砂が堆積していることが図から読み取れる。

勿来海岸の砂浜は、2009年と2011年の図からは目立った変化はみられなかったが、2012年から徐々に砂が堆積し2019年の計測の結果となった。

以上が1961年から2019年期の菊多浦に形成された砂浜面積の計測結果である。次章からなぜこのような変化が起きたのかを考察していく。

## VI. 考察

筆者は、計測した1290本の海岸線の計測点の変化量と、砂浜面積の計測による面積の総量と形状を把握し、その関連性を明らかにしようとした。筆者は、その経年変化を1961年の計測結果を基準として、2019年までの経年変化を考察していく。考察する上で、筆者の計測結果以外の要素を後述に加える。

清水ら(1985)と野志ら(2011)の研究により、菊多浦に建設された仕切堤や離岸堤などの



建設年代が明らかになり、建設されたことで砂浜の形状に変化がみられた。

野志ら (2011) は、勿来海岸の離岸堤や人工リーフの建設による海浜変形について述べた。また、2001～2007年の波浪観測データを用いて、菊多浦に入射する波の角度がN116.2°であることを求めた。そして、菊多浦で行ったふり分け粒度分析により、勿来海岸の砂浜の海浜構造物は、細砂の約60%の割合で構成されていることがわかった。

宇多 (1993) は、波向が自然の影響で大きく変化することはほとんどなく、人為的要因が関係していると述べている。このことから、菊多浦には南南東から北北西に波が入射しており、離岸堤や人工リーフなどが建設されたことで、砂浜の波の影響が変化しと言える。

以上のことをふまえ、菊多浦における1961年から2019年までの経年変化を考察する。

1961年の砂浜は、離岸堤や人工リーフ、鮫川河口部の仕切堤などはまだ建設されておらず、砂浜背後の護岸工事がわずかに始まった痕跡を発見しただけであった。1961年時に菊多浦の砂浜海岸は、砂浜になにか直接影響を与えるような建築物はなく、筆者は1961年の状態が経年変化の基準となると考えた。

鮫川河口の砂州地形の背後には、三角州が形成されており、その三角州によって河口の幅が狭められていた。

鮫川河口を閉鎖するように形成している砂州地形は、鮫川の河道を大きく北に蛇行させ、鮫川上流部から供給される土砂はこの河道から海に放流していたと思われる。このことから、砂州地形は鮫川河口内部での堆積と、放流された土砂が波によって運ばれ、その砂が海岸線に堆積したことで形成していると考えられる。

1976年の計測結果より、鮫川河口内部の三角州がほとんど消失していた。1961年と1966年時には、計測時に目視観察ではあるがこの三角州上に畑などの土地利用がみられた。このこと

から、この三角州は自然に消失したものではなく、河口幅を広げるための開発が行われたことが原因ではないかと推測する。

三角州の消失により、鮫川の河道幅が広がったことで鮫川河口右岸に砂が堆積し、その地域で砂州地形の幅が広がっていた。しかし、砂州全体でみるとその幅が狭くなっており、海岸線の計測によれば、この地域では海岸線の前進がみられた。さらに、1962年には鮫川上流部の高柴ダムが建設され、供給される土砂量が減少した。筆者は、このことについて次のように考えた。

1961年から1976年に変化した点は主に3つあり、1つ目は鮫川の河道が広がったこと、2つ目は鮫川上流部に高柴ダムが建設されたこと、3つ目は砂州地形の幅が狭まったが、海岸線は前進したことである。河道が広がったことにより河川の流量が増え、土砂が供給される地域が変化したことで、鮫川右岸の地域に砂の堆積がみられた。また、流量が増えたことで砂州地形の内側では侵食が進み、河道から砂が放流された。そしてその砂が海岸線に堆積したことで、砂州地形での前進がみられたと推測する。この時、ダム建設の影響で土砂の供給量が減少し、砂州地形内側では河川流の侵食量が堆積量を上回ったのではないかと考える。

砂浜海岸の背後の護岸工事が完了し、砂州地形を除く砂浜の幅が変化した。この時、護岸背後の地域は、開発が進んだことにより、計測時に砂浜を確認することはできなかった。1961年から1976年の間に海岸線が全体的に前進しているのは、上記の河道幅の変化が起因している。砂浜面積の計測結果で表れた変化量は、砂州地形の縮小と護岸は背後の砂浜消失により、砂浜全体の面積が縮小したと思われる。

1986年の計測では、清水ら (1985) の研究で扱われた仕切堤と砂浜開削部、そして野志ら (2011) の勿来海岸の離岸堤の建設による変化が表れた。特に、砂州地形が鮫川により分断さ

れ、旧河道に砂浜が堆積している様子が明らかになった。このことについて、建設後の変化を述べる前に筆者の1982年の計測結果からまとめたい考察がある。

1982年の計測では、仕切堤建設前から砂州地形が河川により分断されていたことがわかった。分断された砂州の間には、小さな三角州がみられた。このことから、この砂州地形は徐々に河川により分断されていったことが推測される。その理由は、上記の河川幅の変化が起因していると思われるが、河川幅が1966年から1976年の間に、どのように広がっていったかは不明である。しかし、1975年と1976年の計測時には、砂州地形が分断される兆候は見られなかった。筆者は、このことについて2つのことを考えており、その思考過程をまとめる。

まず考えられるのが、四時川上流部に建設された四時ダムの存在である。完成したのは1983年の8月であるが、1970年から着工していることはわかっている。ダムの建設過程について詳しく理解していないが、1982年の空中写真の撮影年月日より、ダムが完成する約1年前の時点で、ダムの運搬土砂をせき止める機能が、全く働いていないとは考えにくい。1970年から1983年期のどの時点で運搬土砂が減少したかは定かではない。仮に土砂量が減少していたとすれば、砂州地形の内側の侵食量が堆積量を上回ったことにより、砂州地形が分断されたと推測できる。

2つ目は、1982年の砂浜面積の計測結果から、旧河道の放流口に砂が堆積したことにより、閉鎖していたことである。砂が堆積した原因は、河道幅の拡張により砂州地形内側の砂浜が侵食され、その砂が砂州先端に堆積したことだと思われる。堆積した砂は放流口を徐々に狭めていき、侵食された砂州地形は河川流により分断されていったのだと推測する。

この2つのことから、筆者は次のように考えた。

四時ダムの建設過程で砂浜に運搬される土砂量が減少し、砂州地形は河川流による侵食を受けた。侵食により、分断された現在の河口から土砂が放流され、その砂が波によって運ばれた。加えて、旧河道の河口幅を、狭めるように砂が堆積していたことから、旧河道でも砂が運搬されていたことが予測される。

その結果、砂州地形の先端を堆積した砂が伸ばしていき、旧河道の放流口を閉鎖したのだと推測する。

つまり、砂州地形が分断されたのは、鮫川の運搬土砂量が減少したことで、砂州地形の内側の侵食が進んだことが原因だと推測する。現象が生じた順番としては、①河川流による砂州地形の分断、②現在の河口位置から、放流された土砂が波によって砂州先端の地域に堆積、③砂州地形による閉鎖後に、旧河道からの運搬土砂の堆積だと筆者は考える。

以上が、1982年の計測結果からの考察である。次から1986年の計測結果の考察に話を戻す。

1986年は清水ら(1985)より、仕切堤によって旧河道と鮫川河口が区切られた様子がみられた。加えて、植田佐糠海岸と植田岩間海岸の間に、砂浜開削部が建設されたことで砂州地形が分断されていた。野志ら(2011)によると、勿来海岸に離岸堤が建設されたことで砂浜の形状が変化したことを述べている。

筆者は、砂浜面積の計測により鮫川河口部と勿来海岸にて、砂州地形の形状が変化していることを明らかにし、海岸線の計測によりその海岸線の変化量を求めることができた。

鮫川河口部の砂州地形の変形は、河川からの運搬土砂による堆積と、波による堆積のバランスで年代によって形状が変化していると推測する。1986年は、鮫川河口内部に向かって砂州先端が伸びていることから、波の侵食または土砂を押し込む力が強かったのだと考えられる。ただし、これはあくまで砂州地形の形状から推察したものであり、実際にどのような力が働いた

のかはわからなかった。

砂浜開削部の建設により、旧河道前の砂州地形が分断された。これは、勿来発電所からの放流水により生じたものであることを清水ら（1985）が述べている。加えて筆者の砂浜面積の計測により、分断された放流口の流路沿いに砂浜が形成されていることがわかった。このことから、砂浜開削部から波が侵入して、砂が堆積しているのだと推測される。

仕切堤と砂浜開削部の建設により、砂浜全体の面積の変化で経年変化を考察することはできなかった。特に、分断された砂州地形は年代毎に変化しており、砂浜全体の面積量だけでは細かく把握できなかった。

蛭田川河口から、離岸堤が設置されていない勿来海岸までの海岸線が、後退していることは、野志ら（2011）の研究を参考にして次のような考察をした。

勿来海岸の海浜構造物は、細砂の割合が多くこの砂は隣接する海岸から運ばれたものが離岸堤の遮蔽域に堆積したものであった。勿来海岸は離岸堤によって波の遮蔽効果が波の威力を低減し、その波が質量の小さい細砂をその地域に集中して運んだことで形成された。その効果により、本来は供給されるはずだった砂浜には砂が堆積せず、侵食が進んだと思われる。

1998年は砂浜の形状から、砂浜開削部の放流路を挟むように砂が堆積していることから、1986年に続き波によって砂が旧河道内に堆積したと考えられる。海岸線は、1986年から前進したことが変化量から読み取ることができたが、1976年との差をみると後退していることがわかった。勿来海岸での河岸戦の前進に関しては、上記の離岸堤建設の考察と同様のものである。しかし、1986年には茨城県の平潟漁港の沖防波堤が伸ばされたことで、波の遮蔽域が広がったことをここに加えておく。

鮫川河口部でみられた海岸線の前進は、1986年からの砂州地形の変形によるものであり、砂

州先端と海岸線に砂が堆積した結果から現れたものである。砂州の変形については、上記の1986年の砂州地形の変形のものと同様のものである。

2009年時には野志ら（2011）の研究を参考に、鮫川河口右岸から勿来海岸の離岸堤の沖に、2つの人工リーフが建設されたことがわかっている。人工リーフは蛭田川河口から南の砂浜の侵食を防ぐために建設されたが、砂浜の形状からは堆積した様子はなく、砂浜が消失しているところがみられた。なぜ、人工リーフが設置されてなお海岸の侵食が進むのかは、上記の勿来海岸の考察に加えた平潟漁港沖の防波堤の存在が影響している。防波堤が伸ばされたことにより、広がった遮蔽域の影響が人工リーフの消波効果を上回った結果であった。

2011年は砂浜の形状から、鮫川河口部の砂州が大きく後退した様子がみられ、鮫川河口右岸の砂浜の一部が消失していた。これは、小林（2011）から、東北地方太平洋沖地震・津波による影響だと推測する。津波時に小名浜港では、3.3mの津波が観測されている。その波により、鮫川河口の砂は大きな侵食を受けたと同時に、土砂が河口内部に押し込まれたことが原因だと推測する。

2011年の空中写真は、震災から約7か月後のものを使用しており、津波直後からは砂の堆積が進んでいたことが予測できる。鮫川河口部以外にも旧河道前の砂州地形も影響を受けており、その海岸線の変化を計測から明らかにすることはできた。

砂浜開削部の建設後から、砂州は開削部に接して形成されていたが、計測時にはそれがみられなかった。旧河道の砂州の形状から、鮫川河口部と同様に堆積する砂が押し込まれたのだと考えられる。

2012年から2013年にかけては、大きな侵食を受けた砂州地形が少しずつ前進していることが、海岸線と砂浜面積の計測結果に表れている。

る。河口から放流した土砂が海岸線に堆積し、津波前の状態へと戻りつつあることが推測される。

2012年の旧河道の砂州の形状から、以前の年代には確認されなかったことがある。それは旧河道内に砂の堆積が多くみられたことであった。仕切堤から植田岩間海岸の砂州地形の幅が、目視でも確認できるほど広がっていた。海岸線の変化量より、2011年から大きく前進していることはわかるが、なぜこのようなことが生じたのか。筆者はそのことを次のように考察する。

菊多浦の2013年までの状況を整理すると、まず離岸堤や人工リーフなどの建設により、入射する波の影響が変化した。離岸堤により波の侵入が抑制されていることから、勿来海岸の砂浜は海岸線の前後はあるが、その形状を保持している。それに伴い、隣接する砂浜への堆積量は減り、侵食が進んだ。消失した砂浜が、再び形成された形跡はほとんどない。須賀海岸に形成される砂浜もこの波の影響を受けており、侵食されている。

河川から運搬される土砂量は、鮫川上流部ダム建設により減少したが、それ以降の土砂量の減少はないものと仮定する。

そして、2012年と2013年の海岸線と砂浜面積の計測結果より、鮫川河口部の砂州地形の変化に注目した。須賀海岸から勿来海岸の砂浜は消失したことがわかり、海岸線の後退が変化量に表れていた。一方で砂州地形は前進傾向にあり、その形状と上記の1986年の砂州変形の考察から、波の影響が変化してなおも鮫川河口部には砂が運搬されていることが推測できる。

筆者はこれらのことから、本来ならば勿来海岸に隣接した海岸に堆積するはずだった砂が、波によって鮫川河口を含む旧河道地域まで運ばれたことで、このような現象が生じたのだと推測する。

2011年は、津波の影響によりこの現象がみら

れなかったのだと考える。

2019年の計測結果より、鮫川河口の砂州地形が前進し、消失していた鮫川河口右岸の砂浜も再び形成されたことがわかった。河口部の砂州地形はその先端が、仕切堤付近まで伸びたことで河口を閉塞するように形成されていた。さらに、旧河道内を放流水の流域以外を埋め尽くすように砂が堆積していることがわかった。このことは、上記の2012年から生じた現象の考察と同様のものである。

ただし、これまでに述べた鮫川河口部の砂州地形の形状の考察には、台風や洪水による砂浜への影響は考慮されていない。

以上が菊多浦における先行研究と、筆者の計測したデータから考察した1961年から2019年期の経年変化である。

## VII. まとめ

本研究では、福島県いわき市の菊多浦の経年変化を明らかにするために、1961年から2019年期の15時期の空中写真を取得し、GIS解析ソフトによる海岸線及び砂浜面積の計測を行った。

1961年時の砂浜の状態を基準とし、1時期に対して86本の海岸線の計測地点による変化量と、砂浜の面積とその形状の把握をすることで経年変化を明らかにしようと試みた。

砂浜はダムや離岸堤、仕切堤などの建設前後で変化していることが明らかになった。特に、菊多浦に流入する鮫川河口部に形成された閉鎖砂州の変化に注目し、計測結果からこの砂州地形が、河口を閉塞するように形成していることがわかった。

海岸線の変化量は砂浜の地域毎に細かくグラフに表れ、1961年から1976年に、全体的に前進の傾向がみられた。しかし、1986年の計測結果からは、海岸線が後退傾向にあることがわかり、筆者はそれを鮫川上流部に建設された2つのダムによるものだと考察した。



15時期の砂浜全体の面積を計測した結果、その変化量から大まかな砂浜の縮小と拡大を把握することができたが、砂浜全体の面積だけでは海岸線の変化量との関連性は明らかにできなかった。しかし、砂浜上にポリゴンを描画しその形状を把握することは、砂浜の経年変化を明らかにするための重要な要素であることがわかった。

2011年の3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震・津波による影響が、海岸線と砂浜面積の計測に顕著に表れ、特に鮫川河口部の砂州地形が、大きく侵食されたことがわかった。そして、2012年から2019年の計測により、侵食された河口部に徐々に砂が堆積していることが明らかになった。筆者はこれを、離岸堤や人工リーフの建設により入射する波の影響が変化したことで、鮫川河口に砂が堆積するようになったと考察した。

#### 参考文献

- 阿部真人・福山貴子・佐藤慎司・磯部雅彦・熊谷隆宏  
2002. 鮫川河口砂州の変形と勿来海岸の地形変化過程に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第49巻 (土木学会) 531-535
- 宇多高明 1993. 日本の海岸侵食, 土木学会第29回水工学に関する夏期研修会講義集, B-3, 1-20
- 小林昭男 2011. 2011年東北地方太平洋沖地震・津波地震災害調査報告 日本大学理工学部理工学研究so研究ジャーナル, 2011巻 (2011) 125巻, p125\_1 125\_3 125\_27 125\_42 125\_48
- 酒井和也・宇多高明・星上幸良・小澤宏樹・野志保仁  
2012. 福島県鮫川河口を含む竜宮岬～勿来漁港間における津波後の海浜応答, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.68 No.2 I\_591-I\_595
- 榎木 亨 1965. 河口閉そく機構に関する基礎的研究 (第1報) 海岸工学講演会講演集 12 162-167
- 榎木 亨・竹内 宏 1966. 河口における沿岸砂州の発生発達について—河口閉塞既往に関する基礎的研究 第2報— 海岸工学後援会講演集, 13, 151-155
- 清水琢三・横山博美・近藤浩右・鎗木 宏・松原良夫  
1985. 仕切堤建設に伴う鮫川河口周辺の地形変化, 海岸工学講演会論文集, 32巻, 395-399
- 野志保仁・宇多高明・星上幸良・田村憲史 2011. 福島県の鮫川河口を含む竜宮岬～勿来漁港で起きつつある海浜変形, 土木学会論文集 (海岸工学), Vol 67 No.2 I\_536-I\_540
- 野田英明・木村 昇 1970. 河口閉塞に関する研究 (1) —洪水によるフラッシュの効果—, 京大防災研究所年報, 13B, 427-443
- 長谷川均 1990. 琉球列島久米島、ハテノハマ州島でみられる海岸線変化, 地理学評論, 63, A-10, 676-692

#### 参考にしたウェブサイト

- <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/suisan.php?stn=ON>  
2020年9月2日 潮汐・海面水位のデータ潮位表 小名浜 (ONAHAMA)
- <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/41400a/ordinary-index.html>  
2020年10月6日 小名浜港について—福島県ホームページ 小名浜湾港建設事務所
- <http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/41383a/>  
2020年10月6日 鮫川水系ダム管理所—福島県ホームページ 鮫川水系ダム管理事務所 (統合管理事務所)
- <http://www.shizuoka-kasen-navi.jp/html/glossary/glossary35.html>  
2020年10月3日 河川用語集 静岡県交通基盤部河川砂防局河川企画課