

# 防波堤の建設に起因するサーフスポットの形成機構

渡辺 宗介\* ・ 清野 聡子\*\* ・ 宇多 高明\*\*\*  
芹沢 真澄\*\*\*\* ・ 三波 俊郎\*\*\*\*\* ・ 古池 鋼\*\*\*\*\*

## 1. まえがき

沿岸域では、漁港や港湾施設など様々な人工構造物が建設されてきているが、こうした構造物ができると、それらの構造物周辺では自然条件が必然的に変化する。この変化は、それらの施設の機能自体に影響を与えるにとどまらず、条件によってはその周辺で行われる人間活動にも影響を及ぼす。本研究では、九十九里浜片貝漁港周辺を例にとり、漁港建設に伴う自然条件の変化が、サーフィン (surf-riding) という海浜における人間活動の一つに与えた影響を考察する。

surf-riding に関する既往の研究として、Walker ら (1972) は、peel velocity (波頂がチューブを形成しながら横に移動する速度) を、砕波波高, peel angle (砕波点における砕波角) の関係において、サーフィン技術を上, 中, 初級に判別する図を提案し、砕波波高が高いほど peel velocity が速くなり、それに伴いサーフィンに要求される技術レベルが高くなることを示した。吉田ら (1991) は、良好なサーフ・ポイントである海部川河口の海底地形に着目し、河口テラスが Walker らの提案しているデルタ型リーフと酷似し、比較的静穏な波浪条件でもサーフィンに適する砕波が形成されることを確認した。また、中野ら (1994) は、デルタ型人工リーフの水理模型実験と緩勾配方程式に基づく波浪数値計算を行い、人工リーフ周辺の波高分布について比較した。一方、石川・酒匂 (1997) は、surf-riding の利用者レベルに応じた砕波波高をアンケート調査より求め、Walker ら (1972) の研究結果と比較し、long, short, body board の順に可能砕波波高は低下すること、また初心者には波高が低い条件でのみ可能であるのに対し、上級者はより高い波高を好むことを明らかにした。

中野らは、河口テラスをヒントとした人工リーフ周辺での surf-riding に関する研究を行っているが、波の遮蔽構造物周辺での波浪場と surf-riding の関係についての

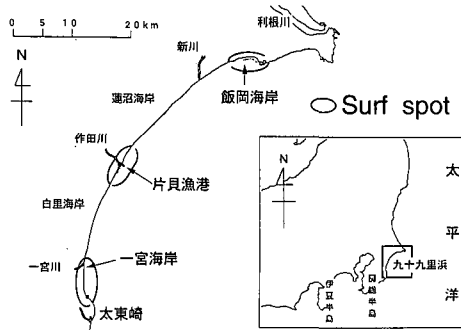


図-1 九十九里浜片貝漁港の位置と surf spots

研究例はない。そこで、本研究ではこのような視点から研究を行うものである。なお surf-riding の特性や、surf-riding に適した波とそれが立つための海岸地形条件については渡辺 (1998) に述べられている。

研究対象の片貝漁港は、図-1 に示すように太平洋に面した九十九里浜のほぼ中央部に位置する。片貝漁港周辺は北東端に位置する飯岡海岸、南西端に位置する一宮海岸～太東崎と並ぶ、九十九里浜有数のサーフスポット (surf spot) となっている (SURFPATROL, 1998)。これらの surf spot は岬のように沖に突出した地形か、あるいは沖向きに突出した構造物に隣接するか、いずれかの特徴を有している。一方、図-1 に示す蓮沼海岸や白里海岸など、平滑な海岸線を持つ海岸では surf-riding はほとんど行われていない。九十九里浜の両端部は岬状に突出しているのに対し、片貝漁港は長大な海岸線の中央部に位置することから、片貝海岸での surf-riding は、外洋に対して突出した構造をもつ片貝漁港という施設の存在が大きく影響していると予想される。しかし、これまで防波堤の延伸と、片貝漁港周辺の surf spot の形成についての因果関係を明らかにした研究はない。

## 2. 片貝漁港周辺でのサーファーのマッピング

片貝漁港周辺において観測時の波や風などの自然条件と、防波堤等の人工構造物が surf-riding に及ぼす影響を調査した。図-2 に示すように、片貝漁港周辺の surf spot は作田、漁港、中央およびメインという 4 つの surf area

\* 正会員 東京大学大学院総合文化研究科  
\*\* 正会員 農務 東京大学大学院助手 総合文化研究科  
\*\*\* 正会員 工博 建設省土木研究所河川部長  
\*\*\*\* 正会員 海岸研究室(有)  
\*\*\*\*\* 海岸研究室(有)

に分かれる。ただし、surf area とは surf spot より狭い区域を指すものとする。今回の調査範囲は、漁港 area と中央 area であり、海浜流、波向・波高、風向・風速の観測、サーファーのマッピングを行った。海浜流は、筆者(渡辺)自身がサーフボードに乗ってフロートの代わりとなり、どの方向に流されるかを観測した。流速は正確には測定できなかったが、流速が速い場所と遅い場所の差が顕著なときは、それも結果に示した。波高については、有義波高を目視により、その波に乗っているサーファーの体をスケールとして測定した。そのため体位により波高を表現する。また、2列砕波の場合には、沖の高い波の砕波波高を観測した。波向については、うねりの入射する方向を観測した。これは海岸からでは観測しにくいので、海浜流観測時に行った。風向、風速は片貝海岸の海の家旗がなびく方向と角度で観測した。

サーファーのマッピングをできる限り定量的かつ正確に行うために、まず図-3 に示すように調査区域内の突堤上や樹木付近などに7つの観測基準地点を定めた。そして、それらから防波堤の先端などの目印となる地点に向けて測線を定めた。調査区域内には surf-riding に適した波が立ちやすい場所が点在しているため、サーファーの分布は一様ではなく、いくつかのグループに分かれている。個々のサーファーは常に動いているが、グループ全体の人数と位置は観測中にほとんど変化しないことを確認した。マッピングの際には、まずグループの位置と人数を観測し、その上で個々のサーファーの分布を決定

した。また、long boarder と short boarder は区別した。観測の手順としては、まず地点 1, 2 で中央 area におけるサーファーの沿岸方向の位置を観測し、観測が終了したら直ちに地点 3, 4, 5 へと移動して沖向き方向の位置を観測した。漁港 area については、まず地点 3, 4, 5 で沖防波堤や斜め防波堤の端部とサーファーとの相対的な位置を観測し、その後地点 6 から地点 7 へと沿岸方向に移動しつつそれらの沿岸方向の位置を観測した。

観測は 1998 年 5 月 26 日, 6 月 2, 4, 8, 9 日, 7 月 4 日の延べ 6 回行った。以下にその観測結果を示す。

① 5 月 26 日: 午前 6:30~11:00 に調査を行った。天候は雨で、強い北東の風が吹いていた。東の波で、波高は頭以上と大きく、かなり沖で砕波していた。北東の風が強く吹いていたが、漁港 area はあまり波面を乱されていなかったため、この area では surf-riding に適した波が立っていた。海浜流の観測結果とサーファーのマッピング結果を図-4 に示す。漁港 area で沿岸流が時計回りに循環しているのがはっきりと観測された。漁港 area に 24 人、中央 area に 9 人のサーファーがいた。

② 6 月 2 日: 午前 6:30~10:50 に調査を行った。天候は曇り時々晴れで、弱い南東の風が吹いていた。東南東の波で、波高は膝~腿と比較的低かったが、風が弱く、あまり波面が乱されていなかったため surf-riding 可能な波が立っていた。観測結果を図-5 に示すが、この時は

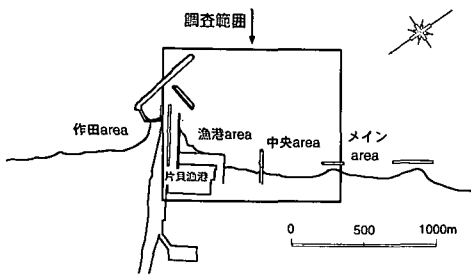


図-2 片貝漁港周辺の現地調査範囲

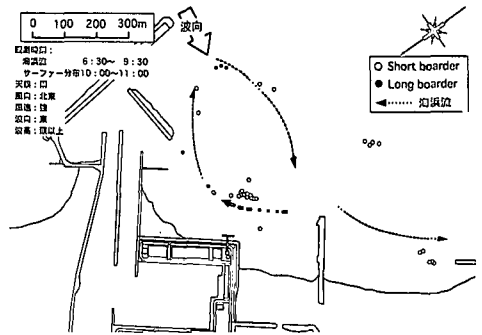


図-4 海浜流の観測結果とサーファー分布 (5月26日)

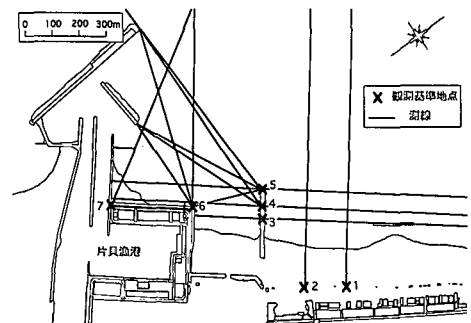


図-3 マッピング時の観測基準地点と測線

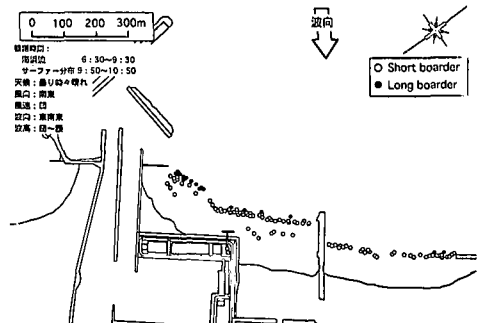


図-5 海浜流の観測結果とサーファー分布 (6月2日)

ほとんど海浜流が観測されなかった。漁港 area に約 80 人、中央 area に約 35 人のサーファーがいた。

③ 6月4日：午前6：30～11：15 に調査を行った。天候は晴れてほぼ無風であった。南東の波で、波高は頭以上と大きく、砕波継続時間の長い波が立っていた。しかも、ほぼ無風で波面が非常にきれいであったため surf-riding に非常に適した波であった。観測結果を図-6 に示す。漁港 area に約 65 人、中央 area に約 30 人のサーファーがいた。

④ 6月8日：午前6：30～11：20 に調査を行った。天候は曇りで北東の風が吹いていた。東の波で、波高は胸～肩と比較的高かった。砕波継続時間も長く、波面も乱されていないなかったため、surf-riding に適した波が立っていた。観測結果を図-7 に示す。このときも漁港 area で循環流が観測された。漁港 area に約 95 人、中央 area に約 50 人のサーファーがいた。

⑤ 6月9日：午前7：00～11：30 に調査を行った。このときの天候は曇りで、南東の風が強く吹いていた。東の波で、波高は頭以上と大きかった。surf-riding するのに十分な波高があったが、強い onshore の風に波面が非常に乱されていたため、surf-riding には適さない波であった。観測結果を図-8 に示す。防波堤と突堤の遮蔽域で循環流が見られた。漁港 area に 10 人、中央 area に 28 人のサーファーがいた。

⑥ 7月4日：午前6：30～11：40 に調査を行った。天候は快晴で弱い南の風が吹いていた。南東の波で、波高は膝～腿と低く、しかも風で少し波面を乱されていたため、あまり surf-riding に適した波ではなかった。観測結果を図-9 に示す。突堤の南側で離岸流が観測された。surf-riding に適した波は立っていないなかったが、土曜日で天気も良かったため、漁港 area に約 150 人、中央 area に約 100 人、合わせて約 250 人もサーファーがいた。

片貝漁港周辺では、ほぼ毎日 surf-riding が可能な波が立っており、また、砕波形式は崩れ波がほとんどであった。さらに、調査範囲内には防波堤などの構造物があるため、砕波継続時間の長い波が立ちやすいことも分かった。そのため、片貝漁港周辺の波が surf-riding に適しているかどうかは、ほぼ波面の状態によって決まる。つまり、その時々風も surf-riding に非常に大きな影響を与えるのである。ほぼ無風であった6月4日には、波面の滑らかな非常に surf-riding に適した波が立っていたのに対して、南東の風が強く吹いていた6月9日は風に波面を乱され、ほとんど surf-riding が不可能であった。また5月26日や6月8日のように北東の風が強く吹いても、調査区域内では比較的波面のきれいな波が立ちやすいことが分かった。これは、片貝漁港の防波堤によって風域が分断されてフェッチが短くなるため、強い風が吹いても波面を乱されにくいためであると考えられる。

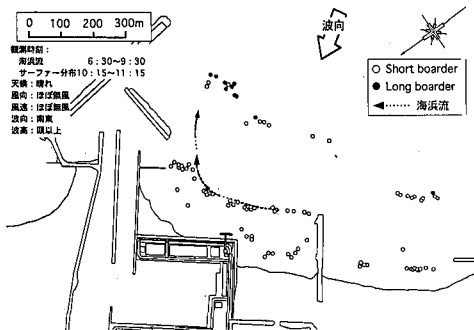


図-6 海浜流の観測結果とサーファー分布 (6月4日)

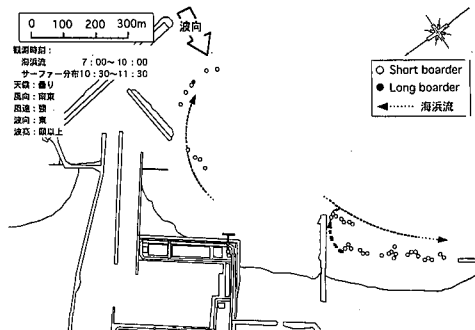


図-8 海浜流の観測結果とサーファー分布 (6月9日)

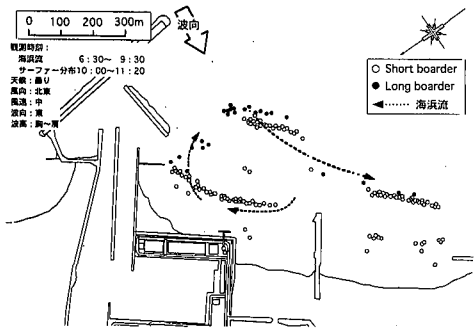


図-7 海浜流の観測結果とサーファー分布 (6月8日)

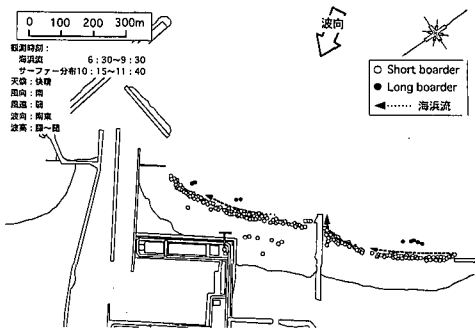


図-9 海浜流の観測結果とサーファー分布 (7月4日)

サーファーのマッピング結果によれば、long boarder は short boarder より常に沖で波待ちしている。これは、long boarder の方が short boarder より paddling (ボードの上に腹這いに乗って手で水をかくこと) で進む速度が速いため、早いタイミングで take-off (波にスピードを合わせて立ち上がる) ができるからである。また、6月2日や6月8日の観測結果には、防砂突堤付近に long boarder が集中している場所が見られる。この付近は防波堤の遮蔽域内にあるため、入射波が遮蔽され回折して、波形勾配の緩やかな long boarder に適した波が立ちやすいためと考えられる。また、6月2, 4, 8日の観測結果によれば、突堤の南北でサーファーが波待ちしている位置が大きくずれていた。サーファーは砕波帯より少し沖で波待ちする習性があるので、突堤の南北で砕波帯がずれているといえる。また、通常の波は、水深が波高程度になると砕波するので、砕波帯がずれているということは突堤の南北で水深が変化していることを意味する。

海浜流については、東から高波浪が入射すると、防波堤や突堤による遮蔽域内では時計回りの方向に循環流が生じる。また、南東方向から波が入射して生じた北向きの沿岸流が、防波堤や突堤によって阻止されて離岸流が生じやすい。離岸流により初心者サーファーの遭難事故が起こることがあるが、上級者は離岸流を getting-out (paddling により砕波線を越えて沖に出ること) に利用することもある。

以上より、片貝漁港の防波堤や突堤は、砕波継続時間の長い波を立ちやすくするだけでなく、風を遮蔽して波面を乱されにくくするという点で、surf-riding に良い影響を与えているといえる。

### 3. 防波堤建設に伴う波浪場の変化が surf-riding に及ぼす影響

防波堤建設に伴う波浪場の変化を調べるために、空中写真を用いて砕波継続 (peeling) 状況を調査した。surf-riding には砕波継続時間の長い波が適し、短い波は適さない。これら2種類の波をそれぞれ模式的に書くと図-10になる。surf-riding に適した波が崩れた後には三角形形状の白濁域が残り、適さない波が崩れた後には帯状の白濁域が残される。このような白濁域は、例えば1970年3月9日に片貝漁港の南北海岸を撮影した写真-1から判読可能である。中央に見える片貝漁港の南北両側に区域A, Bを選んで拡大してある。これによれば区域Aでは砕波線が直線状であって、surf-riding に向かないこと、これに対して南側の区域Bでは三角形形状の白濁域が観察されることから、そこが surf-riding に適した海域であることが分かる。この方法によれば、現地海岸に行かずとも surf-riding が可能かどうか判断できるだけでなく、

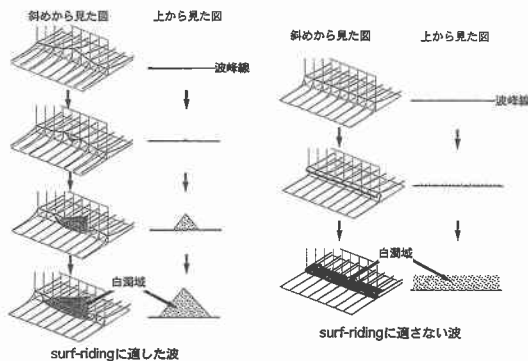


図-10 砕波継続時間と白濁域の形状

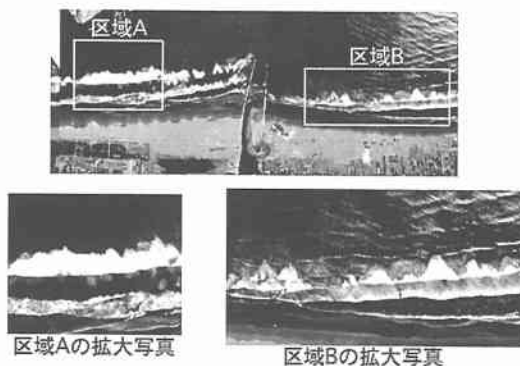


写真-1 直角入射波と斜め入射波の空中写真

さらには過去の surf-riding 状況の復元も可能となる。

次に、1961~1997年の空中写真から、砕波状況が明瞭な1961, 1970, 1982, 1997年の空中写真をまとめて写真-2に示す。それぞれについて、砕波後の白濁域の形状からその時の砕波継続 (peeling) 状況を判読した。

1961年には河口部に砂が堆積しているため、白く見える砕波帯は河口部のみ凸状であって、全体としてほぼ直線状である。また、三角形形状の白濁域はほとんど見られなかった。1970年になると砕波状況は一変する。導流堤が伸ばされたことによって、いままで導流堤の南北で連続的であった砕波帯が分断されている。さらに、導流堤の南北で砕波形式にはっきりと違いが見られるようになった。北側では2列の砕波帯が見られるのに対し、南側の導流堤の付け根付近では、導流堤の遮蔽効果によって波高が低くなり、砕波線が1列になると同時に、砕波位置も汀線に近づいている。さらに、導流堤の南側では、三角形形状の白濁域 (写真の矢印) が現われている。

1982年には、作田川左岸の防砂突堤付近で、きれいな扇状の白濁域が見られる。しかし作田川右岸の防砂突堤付近では全く砕波が起こっていない。また、新たに建設されている漁港と、その南の2基の離岸堤の間に三角形の白濁域が見られる。1997年になると、導流堤北側では

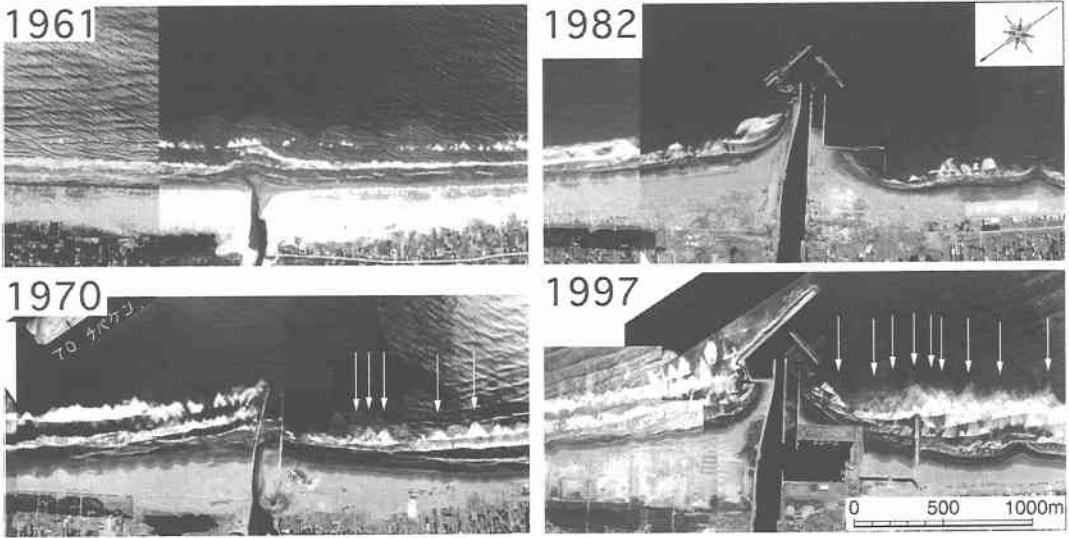


写真-2 片貝漁港周辺の空中写真

三角形の白濁域が見られなくなる。一方、導流堤の南側の突堤付近では大きな三角形の白濁域が多数見られるようになる(写真の矢印)。また、作田川右岸の防砂突堤付近でも砕波が見られるようになった。

砕波後の白濁域の形状から、1961年には、少なくとも撮影時は surf-riding に適した波は立っていないことが分かる。また、汀線形状から推測すると、この当時 surf-riding に適した波が立ちやすかったのは、凸状に突出した作田川河口部のごく狭い区域だけであったと考えられる。そして1970年には白濁域の形状から、漁港南側で surf-riding に適した斜めに崩れていく波が立っていたことが分かる。また、この頃から導流堤の南北で砕波形式にはっきりと差が見られるようになり、片貝漁港周辺の波の多様性が増大したことがわかる。波の多様性が増大すると、そこを利用できるサーファーの層が広がる。

砕波後の白濁域の形状から、1982年には現在の作田 area では surf-riding に適した波が立っていた。一方、現在の漁港 area では水深が深かったため、surf-riding に適した波は立ちにくかった。しかし1997年になると、漁港 area や中央 area で surf-riding に適した波が立ちやすくなったことが分かる。そしてマッピング結果に示したとおり、この区域では1998年現在実際に多くのサーファーが surf-riding を行っており、対応を示している。

以上より、片貝漁港周辺では、漁港防波堤等の建設によって、海浜地形変化の影響も受けながら、次第に surf-riding に適した波浪場へと変化し、新たな surf spot が形成されたことが分かった。

#### 4. まとめ

本研究により片貝漁港という人工構造物が、その周辺の海岸地形や波などの自然条件を変化させ、その結果、surf-riding という人間活動に対して surf spot の形成という影響を与えたことが明らかになった。以上より、外洋に面した長い直線状の海岸に防波堤等の沖に向かって突出した構造物を建設したことが、結果的に surf-riding という海洋性スポーツのグランド形成に対して役立ったと考えられる。ただし、上述したとおり片貝漁港周辺では surf-riding に適した area が経年的に変化してきたことから、今後もこの周辺が surf spot としての機能を維持し続けられるかどうかについては不明である。

#### 参考文献

- 石川仁憲・酒匂敏次 (1997): サーフグレンデの特性とグレンデ計画要件に関する研究, 海洋開発論文集, Vol. 13, pp. 171-176.
- 中野 晋・三島豊秋・中野孝二・三井 宏 (1994): サーフィンに適するデルタ型リーフ周辺の波浪特性, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 721-725.
- 中野 晋・吉田善昭・中野孝二・三井 宏 (1993): サーフィンに適するデルタ型リーフ周辺の流れと漂砂, 海洋開発論文集, Vol. 9, pp. 229-234.
- 吉田善昭・中野 晋・増味康彰・三井 宏 (1991): サーフィンに適する波と人工リーフの関係, 海洋開発論文集, Vol. 7, pp. 113-118.
- 渡辺宗介 (1998): 漁港建設工事に伴う surf spot の形成過程に関する研究—一九九里浜片貝漁港の例—, 平成10年度東京大学教養学部基礎科学科第二卒業論文, pp. 2-6.
- SURFPATROL (1998): BEACH COMBING, rise system. inc., p. 121.
- Walker, J. R., P. Q. Palmer and J. K. Kaukea (1972): Recreational Surfing on Hawaiian Reefs, Proc. 14th Coastal Eng. Conf., pp. 2609-2628.