

明るさと海岸環境の関係について

宇多高明*・小 俣 篤**・浅 対 享***

1. ま え が き

海岸の環境や利用に関しては様々な角度より研究が行われてきた。堀川ら(1972)は海水浴場とマリナをとり上げ、それらを利用する際に必要とされる自然条件を調べた。佐々木ら(1974)、井上・島田(1976, 1982)は、海水浴が快適に行われるための条件を調査し、それらの条件の指標化を試みた。また、小舟(1989)はヨット、サーフィン等の海洋性レクリエーションと水理条件の関係を、野々口ら(1989)はウインドサーフィンと風向風速条件との関係を示した。しかし、これらは全て特定の利用内容に対応した自然条件について研究したもので、種々の利用形態相互の関係や、海岸環境が人の心理へ及ぼす影響については触れていない。また、最近では環境面にも配慮した海岸保全施設の検討が行われているが、施設を造ったことによる海岸環境の具体的な改善効果は明らかではない。これは、海岸環境という概念があいまいであり、魅力的な海岸環境に関する具体的な知見がないことにある。

そこで、海岸環境を利用する場合の魅力について考察を試みた。海岸の持つ大きな魅力は、様々な自然条件を活かした利用が可能なことである。その場合、海岸での行動は、波の静穏度や前浜の広さ等の自然条件によって制約を受ける。また、開放感やのどかさのような雰囲気は、人々を海岸に引き寄せる魅力となっている。これらの雰囲気は波の音、潮の香り、太陽の日ざし等の物理的な条件によって形成される心理環境である。例えば、灘岡・徳見(1988)、灘岡・玉嶋(1989)は波の音が海らしさを演出する重要な要素であることを示した。

以上のように、海岸環境は行動の制約条件になると同時に、海岸の雰囲気を形成する。それゆえ、海岸環境を構成する種々の要素にもこれらの2面性がある(図-1)。このため、海岸環境をとらえるには構成要素を把握するとともに、それらの要素が海岸の雰囲気および行動の制

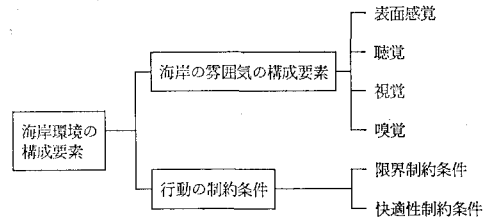


図-1 海岸環境を構成する要素の2面性

約条件とどのように係わるかを明確にする必要がある。本研究では海岸環境の持つ様々な雰囲気のうち視覚の対象となる要素について述べ、それらの中で特に海岸の明るさについて検討した結果を示す(宇多ら, 1989)。

2. 視覚と海岸環境との関係

海岸の雰囲気は、人が感覚器により得た情報が心理的な過程により処理されて生じる心象である。したがってその雰囲気を構成する要素は、表面感覚、聴覚、視覚、嗅覚の対象に分類される(図-1 参照)。すなわち、海の波、潮の香り、潮騒等が感覚器を通じて人の心理に作用し、雄大さ、のどかさ、爽快感等の雰囲気をもたらす。このように、海岸の雰囲気は知覚された外界の刺激が各人の心理に変化を与えることにより得られるものであることから、その理解のためには、海岸環境と心理とを介する感覚毎に海岸環境をとらえる必要がある。

最近、様々な土木構造物(橋梁、道路等)の建設に際して、景観が広く論じられている。また、ウォーターフロントの開発に際しても、デザインや景観が重要視されている。海岸においても景観は環境を構成する重要な要素である。海岸の環境に関する情報は、観光案内等に見られるように写真や映像によるものが圧倒的に多い。そのため、一般には視覚環境として第一に景観が取り上げられる。しかしこれらの伝達手段により得られる情報は、主に平面上に配列された色彩により表現された景観であり、実際の海岸で得られる空間の3次元的な広がりや明るさを得ることはできない。

延長数 km にも及ぶ長い海岸線において、景観として

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
 ** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室研究員
 *** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室部外研究員
 (フジタ工業(株))

感知されるのは海面、水平線、空および背後地の景色である。これらは、景観として人間の心理に強く働きかけるというより、むしろ長い海岸線の有する空間の広さ、大きさが雄大さや開放感等の心理を生じさせると考えられる。すなわち、視覚に関しては、景観と同様に海岸の広さも海岸の雰囲気構成する要素とすべきである。また、海岸は太陽光を遮るものが少ないため、内陸の自然環境に比べてより明るいと思われる。さらに、海面や白い砂浜は高い輝度特性を有することから、海岸の明るさをさらに強調するはずである。このような明るい海岸は開放感や健康感などの雰囲気と関係すると考えられる。以上のことから、視覚と関係した要素として広さ、明るさ、景観の3項目を取り上げて検討すべきである。本論文では、これらの中で明るさについて特に検討を加えた。

3. 視覚と明るさの関係

砂浜では強い太陽光に加え、砂面からの光の反射が強いので、内陸の市街地と比べてかなり強い明るさ（まぶしさ）が感じられる。また、このような明るさの程度は砂面の反射特性によって異なっており、砂の種類ごとに砂浜の明るさは変化する。一方、海岸環境の整備の見地から考えると、海岸の明るさを砂の色（反射率）の調整や周囲の植栽などにより変えることも可能であろう。以上の点より、砂の輝度と明るさとの関係を十分明確にすることが必要とされる。

明るさと心理の関係については、建築物や室内の照明に関して広く研究されている。例えば、光源の色温度（光の色調を温度で表わしたもの）と照度の関係による明るさの感じ方の違いが深津ら(1988)により調べられている（図-2）。図によれば、同じ照度でも色温度の違いにより、暑苦しい、快適、陰うつと快適感が異なる。

海岸における照度は自然光によって決定されるが、晴天または曇天時の照度は $1.0 \times 10^4 \text{ lx} \sim 1.2 \times 10^5 \text{ lx}$ にある（人間-環境系編集委員会, 1972）。また、海岸が主に利用される晴天または曇天時の色温度は $5.0 \times 10^3 \text{ K} \sim 2.0 \times 10^4 \text{ K}$ にある（深津ら, 1988）。これらの条件を図-2 にあてはめると、日昼の太陽光は常に快適な色温度に

あると判断される。このことから、海岸の明るさを検討する場合、色温度は除外しても良い。ある地域において季節と時間を定めれば、晴天時における太陽光の照度はほぼ決まるから、地上の明るさを支配する主要因は地表の反射条件となる。このことから、地表の輝度の測定が必要である。一方、視覚より感知される明るさは相対的な感覚量であるから、この面からの検討も必要とされる。例えば、暗闇から日なたに出ると明るく感じるが、逆に日ざしの強い屋外から室内に入るとかなり暗く感じる。このような相対的な明るさの差の問題はトンネルや室内照明の分野で研究されている。周辺の明るさに比べ照明がまぶし過ぎると不快に感じられることを不快グレアと呼び（例えば、照明学会, 1978）、その評価にはグレインデックス（例えば、松田ら, 1970）が用いられる。

しかし、これは室内で有限な大きさを有する照明に対して与えられる指標であり、ここで問題とする明るさの空間的な差に適用することはできない。さらに、海岸の明るさは開放感等の魅力と密接に関連する。したがって、陸域と海岸環境の明るさの差は、快グレアと呼ぶべき現象をもたらすと考えられる。このことから、海岸の明るさは陸域環境と海岸との輝度差により生ずる快グレアとして、照明の場合と同様に評価する必要がある。そこで、現地調査により様々な状況での照度、輝度を測定し、海岸とその他の環境での明るさの差を調べることにした。

4. 陸域環境と海岸環境の明るさの差に関する現地調査

4.1 調査方法

陸域環境と海岸環境での明るさの差を調べるために、太陽光の照度と地表の条件によって定まる明るさを現地調査によって調べた。調査では様々な地表条件のもとで太陽光の照度と地表の輝度を測定し、測定者2名により明るさを評価した。測定場所としては、地表の輝度特性が異なり、かつ均一な地表条件と十分な広さを有する場所を選んだ。測定場所の一覧を表-1 に示す。測定場所の広さは実験砂の場合のみ $2.5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ であるが、他の場合最低でも $10 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ の広さを持つ。なお、参考として晴天時の乗用車中での測定も行った。

測定項目は太陽光の照度、水平方向照度、地表反射照度、地表の輝度である。水平方向照度とは、太陽光と地表からの反射光を合わせたその場の全体的な明るさであり、水平方向を見た場合目に感じられる照度として測定した。また、地表反射照度とは、地表からの反射光の照度であり、下方を見た場合に感じられる照度として測定した。これは輝度とは異なり広い範囲の地表面からの反射光を集約した指標となる。20代男性2名による明るさの判断には以下の評価基準を用いた。

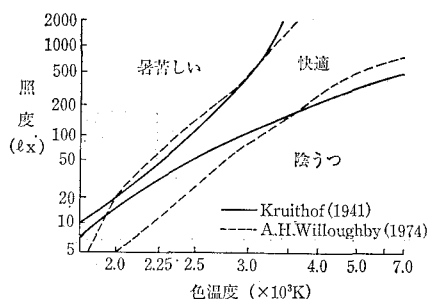


図-2 色温度と照度による快適さの区分（深津ら, 1988）

表-1 照度と輝度の測定場所一覧

番号	測定場所	地表条件	番号	測定場所	地表条件
1	玄関前広場	赤レンガ	13	池	水面
2	駐車場	アスファルト	14	駐車場	乾いた地面
3	水田	稲穂	15	造成地	湿潤な地面
4	サツマイモ畑	葉	16	ゲートボール場	砂
5	県道	アスファルト	17	玄関前広場	赤レンガ
6	砂浜	砂	18	玄関前広場	赤レンガ
7	公園	芝生	19	通路	アスファルト
8	校庭	砂	20	実験場	砂(実験用)
9	試走路	コンクリート	21	駐車場	アスファルト
10	屋上	コンクリート	22	サッカー場	芝生
11	駐車場	アスファルト	23	試走路	コンクリート
12	サッカー場	芝生	24	車内	

まぶしい：強い明るさを感じ、地表を見ると時々目を細める必要がある。

明るい：まぶしいと薄暗いの間。

薄暗い：曇天や森の中などのように多少暗いと感じる。

次に、砂浜の明るさを調べるために、種々の砂の輝度特性を調べ、砂の特性(粒度特性および鉱物組成)と明るさとの関係を検討した。測定対象の砂には、茨城県内の7海岸の汀線砂、実験砂および山形県産の珪砂の計9種類を用いた。各試料は72時間約100℃の炉乾燥により絶乾状態とし、晴天時の屋外で砂面の輝度および分光反射率を測定した。また、各試料のふるい分け試験および現地海岸の砂の鉱物組成調査(無作為に選択した500個の砂粒を偏光顕微鏡で鉱物の種類と数を調べる)を行った。

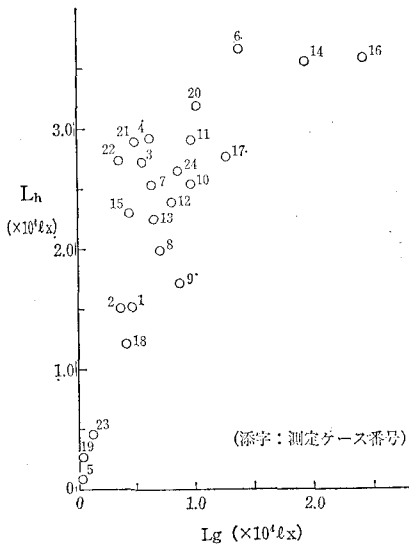


図-3 地表反射照度(L_g)と水平方向照度(L_h)の関係

4.2 調査結果

水平方向照度、地表反射照度は地表上の明るさを視覚からとらえるために新たに定義した指標である。まず、これらのパラメータの関係について調べた。地表反射照度(L_g)と水平方向照度(L_h)の関係を 図-3 に示す。ここに、図中の添字は表-1 に示した測定ケースを表わす。測定は曇りまたは晴の天気で照度範囲は $4.1 \times 10^3 \text{ lx} \sim 1.2 \times 10^5 \text{ lx}$ の場合に実施した。地表反射照度と水平方向照度との間には正の相関は見られたものの、相関は低い。これは、水平方向照度には太陽光と、地表からの反射光が共に含まれており、地表面の条件によりばらつきを生じるためである。地表反射照度(L_g)と輝度(G)の関係(図-4)では、輝度は地表反射照度に対し相関係数 0.97 の高い相関を有し、両者の関係は $G = 0.32 L_g$ で表わされた。また、晴の天気で太陽光の照度が $7.0 \times 10^4 \text{ lx} \sim 1.2 \times$

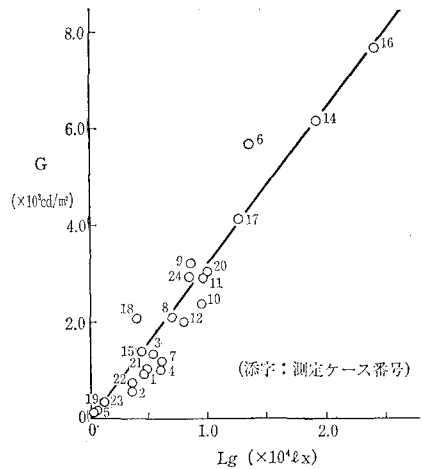


図-4 地表反射照度(L_g)と地表の輝度(G)の関係

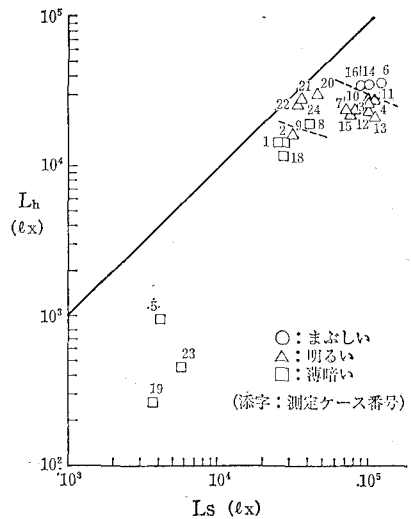


図-5 太陽光の照度(L_s)と水平方向照度(L_h)の関係

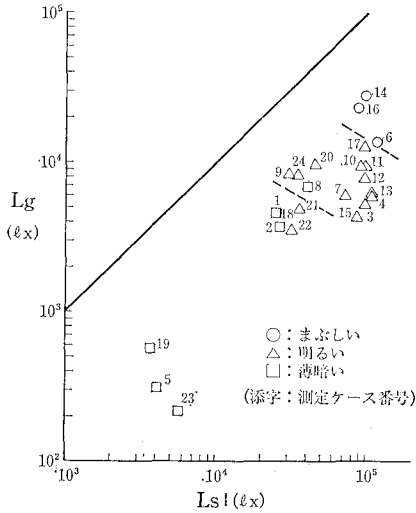


図-6 太陽光の照度(L_s)と地表反射照度(L_g)との関係

$\times 10^5 \text{ lx}$ の条件下では、地表が砂(ケース 6, 16)や乾燥した地面(ケース 14)の場合、輝度が $(5.7 \sim 7.7) \times 10^8 \text{ cd/m}^2$ と他のケースよりかなり高い値を示した。このことから、砂浜および砂浜と同等の地表条件からなる環境は、地表がコンクリート、アスファルト、芝生等からなる環境に比べてかなり明るい条件を有することが分かる。

太陽光の照度(L_s)と水平方向照度(L_h)の関係を図-5に示す。図中には明るさの区分を破線で示した。太陽光の照度が約 $8.0 \times 10^4 \text{ lx}$ 以上になるとまぶしい明るさが得られる。まぶしさに必要な水平方向照度の最小値は約 $3.6 \times 10^4 \text{ lx}$ である。 $L_s = 1.2 \times 10^5 \text{ lx}$ のまぶしい明るさの時に、乗用車内での水平方向照度は $7.8 \times 10^3 \text{ lx}$ であり、薄暗いに相当する明るさであった。したがって、車内から外へ出る時には感覚変化を引き起こすに十分な照度変化があることが分かる。このことより、海岸は陸域や、車内より明るい条件を有し、このような場所的な明るさの差が快グレアとして開放感等の雰囲気や寄与すると考えられる。次に、太陽光の照度(L_s)と地表反射照度(L_g)の関係を図-6に示す。明るさの区分を図-5と同様に破線で示した。太陽光の照度と地表反射照度との関係は太陽光の照度と水平方向照度の関係(図-5)と同様な分布状況を示す。このことは、水平方向照度と地表反射照度とが明るさを表わす上でほぼ同等なパラメータであることを表わしている。図より、まぶしいと明るいとの明るさは地表反射照度がほぼ $1.4 \times 10^4 \text{ lx}$ において区分されることが分かる。地表反射照度は本研究で新たに定義した指標であるが、地表の反射条件を物理的な意味からより厳密に調べる上では地表の輝度を使うことが望ましい。そこで、太陽光の照度(L_s)と地表の輝度(G)の関係を図-7に示した。太陽光の照度と地表の輝度との関係は太陽光の照度と地表反射照度との関係(図-6)と

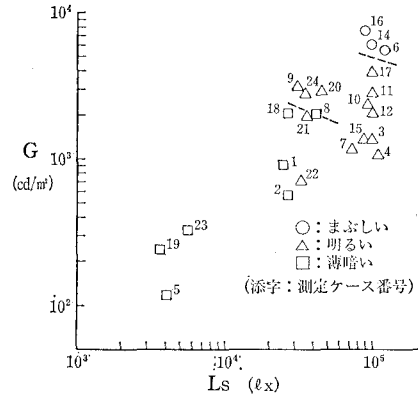


図-7 太陽光の照度(L_s)と地表の輝度(G)との関係

同様の分布状況となった。結局、明るいとまぶしいとの明るさの区分は地表の輝度によっても可能であり、その限界値は約 $5 \times 10^3 \text{ cd/m}^2$ で与えられる。

砂浜やそれと同等の地表条件では、まぶしさを感じ、コンクリート、アスファルト、芝生等の地表からなる環境よりかなり明るく感じられる。具体的には、まぶしさを感じる明るさは太陽光の照度が $8.0 \times 10^4 \text{ lx}$ 以上、地表反射照度がほぼ $1.4 \times 10^4 \text{ lx}$ 以上(または地表の輝度がほぼ $5 \times 10^3 \text{ cd/m}^2$ 以上)の時に得られるものであり、まぶしさを感じるかどうかは、太陽光の照射状況と地表の条件によって支配される。

次に、砂の輝度調査により得られた結果を以下に示す。各試料の色調は外見上明らかに異なり、これに対応して、輝度は $4.3 \times 10^3 \text{ cd/m}^2 \sim 1.6 \times 10^4 \text{ cd/m}^2$ と広い範囲に分布した。そこで、砂の色調の差を物理量で表わす試みとして、太陽光の照度が $8.2 \times 10^4 \text{ lx}$ と一定の条件下において、分光光度計により $600 \text{ \AA}$ の波長帯で反射率(R)を測定した。長尾ら(1989)が各波長帯の分光反射率を主成分分析した結果によると、分光反射率の第一成分は全波長にわたりほぼ様な値を持ち、平均反射率に対応していることから、 $600 \text{ \AA}$ の波長帯の反射率で砂の分光反

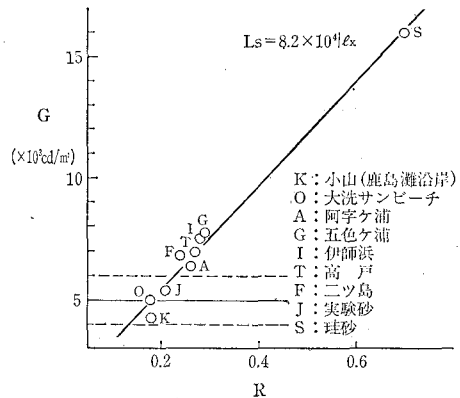


図-8 砂の反射率(R)と輝度(G)の関係

射率を代表できると考えた。砂の反射率 (R) と輝度 (G) の関係を図-8 に示す。この図より、両者の間には相関関係 0.99 の正の相関が見られる。このことは、同一照度の下では反射率により輝度特性を代表できることを示す。また、図-7 に示したように約 $5 \times 10^8 \text{ cd/m}^2$ の輝度を中心に $(4 \sim 6) \times 10^8 \text{ cd/m}^2$ の範囲で明るいまぶしいの変化が生ずることを考慮して図-8 を参照すると、砂の種類によってはまぶしさを感じ難い砂浜も存在することになる。砂の反射率と輝度の関係より、まぶしさを得るのに必要な砂の反射率はほぼ 0.2 以上であることが分かる。

最後に、現地海岸の砂の鉱物組成調査の結果を図-9 に示す。図では石英、斜長石、カリ長石等の無色鉱物の数量百分率が多い海岸順にグラフを並べ、砂の反射率を右端に記した。数量百分率と反射率はよく対応することが明らかである。そこで、無色鉱物の中で数量百分率の最も大きい石英を代表として、石英の数量百分率 (C_q) と反射率 (R) の関係を珪砂の場合とともに図-10 に示す。石英の数量百分率が大きいほど反射率も大きくなっており、無色鉱物を多く含む砂の反射率は高く、まぶし

い明るさを得やすくなることが明らかである。

5. 結 論

①海岸整備の観点から海岸環境を考えたとき、従来の議論は個々の施設計画や特定の利用形態に主眼が置かれており、海岸環境全体についての議論が不足していた。本研究では、新たに海岸の自然条件を考慮し、海岸環境を雰囲気と行動の制約の2面よりとらえるべきことを示した。また、雰囲気を構成する要素として、視覚によるもののみでなく表面感覚、聴覚、嗅覚からも考察すべき必要性を示した。②視覚に関する要素については、従来景観のみが議論の対象となってきたが、広さや明るさについても景観と同様に考えるべきことを指摘した。③海岸は陸域環境に比べ明るい環境にある。このことが快グレアとして海岸の雰囲気に関与すると考えられる。④まぶしさを感じるのに必要な地表反射条件は、 $8.0 \times 10^4 \text{ lx}$ 以上の照度下 (晴天時に相当) で約 $5 \times 10^8 \text{ cd/m}^2$ 以上の輝度および 0.2 以上の反射率を有することである。⑤砂の種類によって輝度特性は異なり、この差違は砂の色調と関係し、無色鉱物を多く含む砂ほどまぶしさが得やすい。

参 考 文 献

- 井上雅夫・島田広昭 (1976): 海水浴場に関する海岸工学的研究, 第23回海岸工学講演会論文集, pp. 572~576.
- 井上雅夫・島田広昭 (1982): 海水浴場に関する海岸工学的研究 (第2報), 第29回海岸工学講演会論文集, pp. 633~637.
- 宇多高明・小俣 篤・浅刈 享 (1989): 海岸環境を構成する要素および海岸の利用形態に関する研究, 土木研究所資料, 第2807号, 51 p.
- 小舟浩治 (1989): ウォーターフロント開発における水理学的計画手法に関する検討, 海洋開発論文集, Vol. 5, pp. 167~172.
- 佐々木民雄・堀田新太郎・五十嵐 元・久保田 進 (1974): 海洋性レクリエーションに関する研究 (第2報), 第21回海岸工学講演会論文集, pp. 471~475.
- 照明学会編 (1978): 照明ハンドブック, オーム社, 792 p.
- 長尾昌明・天野順次・沢本正樹 (1989): 海浜調査における砂の色の利用の可能性, 第44回年講講演概要集, pp. 774~775.
- 灘岡和夫・徳見敏男 (1988): 海岸の音環境に関する基礎的研究, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 757~761.
- 灘岡和夫・玉嶋克彦 (1989): 海岸環境要素としての波の音の特性について, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 869~873.
- 人間一環境系編集委員会編 (1972): 人間一環境系(下巻), 人間と技術社, 684 p.
- 野々口哲生・堀田新太郎・竹沢三雄 (1989): ウインドサーフィンについての海岸工学的研究, 第44回年講講演概要集, pp. 816~817.
- 深津 正・中島龍興・面出 薫・近田玲子 (1988): あかりと照明の科学, 彰国社, 179 p.
- 堀川清司・佐々木民雄・五十嵐 元 (1972): 海洋性レクリエーションとその環境, 第19回海岸工学講演会論文集, pp. 83~91.
- 松田宗太郎・洞口公俊・田淵義彦 (1970): 屋内照明における各国グレア評価法の概要, 照明学会誌, Vol. 54, No. 4, pp. 157~169.

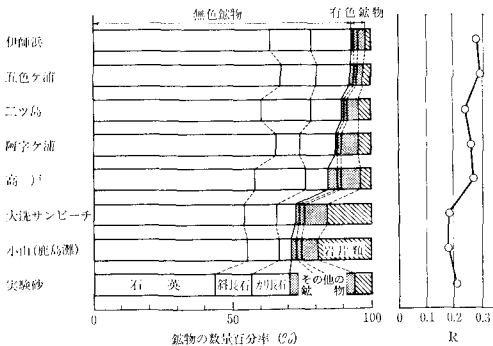


図-9 現地海岸の砂の鉱物組成

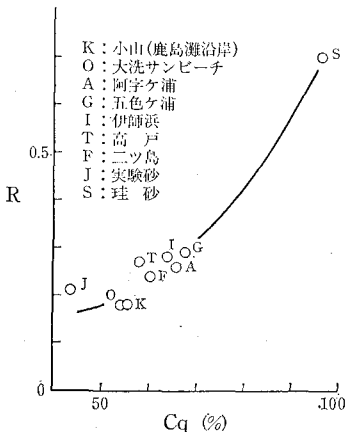


図-10 石英の数量百分率(C_q)と反射率(R)の関係