新潟県内海岸の砂の色彩と地質構造との関係

玉井 昌宏¹・辻本 剛三²・細山田 得三³

¹ 正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)
E-mail: tamai@civil.eng.osaka-u.ac.jp

² フェロー会員 熊本大学教授 大学院先端科学研究部 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)
Email: tgozo@kumamoto-u.ac.jp

³ フェロー会員 長岡技術科学大学教授 工学部環境社会基盤工学専攻
(〒940-2188 長岡市上富岡町 1603-1) E-mail: rng@nagaokaut.ac.jp

新潟県内の諸海岸の砂の色彩の特徴を定量的に明らかにするとともに、それと海岸近傍に河口を有する河川の砂の色彩、その河川の流域や海岸周辺地域の地質特性との関係について検討した。同県内の地質構造は構造線や大地溝帯、火山岩類等の影響により極めて多様である。荒川以東の地域の海岸が、朝日帯の珪長質深成岩により県内で最も明るい色彩を持つこと、大地溝帯地域では米山の火山岩類や新潟油田地域の堆積層によって暗い色を持つこと、非アルカリ苦鉄質火山岩類が多い地域の海岸砂は茶色系の暗色を持つこと等、地質特性が海岸砂の色彩に強く影響することが確認できた。

Key Words : beach sand, color variations, geological features, Niigata Pref., the Fossa Magna

1. 研究目的

筆者らはこれまで海岸砂の色彩の相互比較や色彩と周辺地質状況との関連性を明らかにするとともに、その関連性の海岸管理や周辺河川を含めた流域土砂管理への利用可能性について検討してきた。色彩が特徴的であるとして選択された全国 23 の海岸^{1,2)}、淡路島^{3,4)}や鳥取県内の諸海岸⁵⁾、琵琶湖湖岸⁶⁾等を対象として種々検討を行った結果、海岸近隣の河川の流域地質状況によって海岸砂の色彩が説明できること、近隣河川の影響範囲や沿岸漂砂の方向が推定できること等を示した。

本研究の目標は、海岸砂の色彩を新潟県内諸海岸の管理や流域土砂管理に応用する方法を見いだすことである。本論では、同県内の 41 の海岸や 11 の周辺河川の砂の色彩を定量的に把握するとともに、それと新潟県に見られる複雑な地質構造との関連性を検討する。

2. 方法

(1) 海浜砂と河川砂の採集と分析

図-1 に海岸砂あるいは河川砂を採集した地点と、信濃川等の海岸近隣の主要河川の流域と主要河川に挟まれた小河川の流域をグループ化したものを示す。例えば、Ak-Ar で示した範囲は、この範囲の北側を流れる赤川と南側の荒川に挟まれた小河川の流域をまとめたものである。調査対象範囲内に河口を有し、比較的大きな流域面積を

持つ河川は、荒川(同図中記号 Ar, 流域面積 1,150km²)、阿賀野川(Ag, 7,710km²)、信濃川(Sh, 11,900km²)、関川(Se, 1,140km²)、姫川(Hi, 722km²)、黒部川(Ku, 667km²)である。これに加えて、小流域の河川ではあるが地質状況が特徴的であるとして、荒川と阿賀野川間の胎内川、加治川、信濃川と関川間の鯖石川、谷根川、鶴川でも砂を採集している。海岸砂は各海浜の汀線付近で採集した。河川砂は基本的に河口付近の河岸で採集したが、それができない場合には採泥器を用いて河床の砂を採集した。但し、信濃川については大河津分水路の上流側で採集した。

筆者らの方法¹⁻⁶⁾と同様に、PC スキャナーにより撮影した砂画像の各ピクセルを RGB 値によって黒から白に至る灰色系 11 色、寒色系茶色(こげ茶色) 5 色、暖色系茶色(茶色) 5 色の合計 21 色に分類した。各砂サンプルの色彩はこの 21 色の相対頻度によって表示されると仮定した。

(2) 近隣河川流域と海岸周辺地域の地質構造の分析

前項で示した大流域の 6 河川については河川単位で、これらの以外の流域面積の比較的小さな河川については、それらをグループ化して地質状況を分析した。これに加えて、既述の地質状況の特徴的な 4 河川についても、地質特性を個別に分析した。また、いくつかの流域グループについては、グループ内の海岸の色彩の変化を検討するために、その中のいくつかの海岸の周辺 5km 範囲の地質状況についても分析した。

地質データとして、産業技術総合研究所地質調査総合センター(編)の20万分の1日本シームレス地図詳細版を用いた。各河川の流域データには、国土数値情報の流域メッシュ第2.1版(3次メッシュ1/10細分区画, 100mメッシュ)を用いた。地理情報システム Quantum GIS Ver.2.8.1を用いて、各河川流域あるいはグループ化された流域のレイヤと地質レイヤの交差をとることにより、流域あるいはグループ内の年代別の地質項目(Legend_J)の地物数を求めた。

3. 地質構造の概要

図-1の破線は、新潟県内を通過している構造線である。糸魚川静岡構造線は西南日本と大地溝帯(フォッサマグナ)の西端を隔てている。柏崎千葉構造線は大地溝帯の東端と東北日本の境界であるが、新潟県内では大地溝帯内を通過している。新発田小出構造線は、新潟県内ではこれが大地溝帯の東端と東北日本の境界となっている。三面棚倉構造線は、中生代ジュラ紀の付加体が多い足尾帯と白亜紀から古第三紀始新世にかけての花崗岩類が多くみられる朝日帯の境界線になっている。⁷⁾

図-2に各流域あるいは流域グループ内の地質構成の概略を示している。同図では、形成年代を考慮せずに、堆積岩類、付加体、地形項目、深成岩類、火山岩類、その他の6種に分類している。堆積岩類には、海成、非海成、海成および非海成の堆積岩類や石灰岩が含まれる。地形項目は、低位、中位、高位の段丘、砂丘、自然堤防、扇状地、水域などである。その他には、超苦鉄質岩類、長門や夜久野の変成岩などが含まれる。

赤川—荒川間の流域グループでは、約40%が深成岩類

である。その大半が白亜紀後期の珪長質深成岩類(新期領家花崗岩)であるが、朝日帯は領家帯の一部であるという考え方がある。⁸⁾20%の火山岩類は中新世のものが多く、10%の付加体は足尾帯のジュラ紀前中期の基質である。⁹⁾若干の比率は異なるが、荒川流域は赤川—荒川間の地域と類似した地質構成である。約40%の堆積岩類の多くは中新世に形成されたものであり、この地域はいわゆるグリーンタフ地域⁸⁾である。25%の深成岩類の過半は朝日帯に属するものである。15%の火山岩類は中新世のものが占めており、相対的に苦鉄質より珪長質のものが多い。

荒川—阿賀野川間の領域では、概ね堆積岩類25%、付加体20%、深成岩類30%である。付加体は足尾帯のメランジ基質である。深成岩類の大半は朝日帯の新期領家花崗岩類である。この地域の胎内川の流域は約65%が付加体になっているが、そのほとんどが前中期ジュラ紀の付加体の基質である。加治川は、40%が朝日帯の深成岩類、15%が足尾帯の付加体の基質であった。

信濃川の地質項目別の内訳は、堆積岩類35%、火山岩類25%、深成岩類10%である。時代別構成を調べると、中生代10%、第三紀30%、第四紀50%程度であり、第四紀の新しい地層が多いことがわかる。火山岩類の形成年代は新第三紀と第四紀のものが概ね半分ずつであり、相対的に珪長質のものが多かった。堆積岩類35%は大地溝帯関連の堆積物と火山噴火物であった。阿賀野川流域の内訳は、堆積岩類30%、火山岩類35%、付加体10%であり、年代別内訳は中生代15%、第三紀50%、第四紀35%であった。また、阿賀野川の火山岩類は約50%を非アルカリ珪長質火山岩類が占めていた。堆積岩類の大半は中新世—鮮新世の新第三紀の地質であった。

図-1 砂の採取地点、流域あるいは流域グループと構造線

柏崎千葉構造線より西側で、糸魚川静岡構造線より東側の地域には、関川—信濃川間の流域グループ、関川流域、姫川—関川間の流域グループがある。関川—信濃川間の流域グループについては、70%程度の堆積岩類中の60%が大地溝帯と関係する中期中新世から鮮新世の海成堆積岩であった。20%の火山岩類の大半は同時期の非アルカリ苦鉄質火山岩類である。この地域の地層は、新第三紀の堆積岩層と同時期の火山活動により形成された火山岩類によって構成されている。この中の鯖石川は、柏崎市と上越市にまたがる標高 993m の米山を左回りに迂回するように流れている。図-2 のように 90%近くを堆積岩が占めているが、形成時期は中期中新世から鮮新世、後期更新世から完新世にかけての堆積岩類が大半を占めている。これらは海底火山であったと考えられている米山からの噴火物の堆積物であると推測される。谷根川の流域の大半は火山岩類であるが、その 85%が非アルカリ苦鉄質火山岩類であった。鶴川は鯖石川と谷根川の間の特徴を持っていることがわかる。関川流域では堆積岩類が 50%を越えているが、これも大地溝帯の堆積物である。30%弱の火山岩は前後期更新世の非アルカリ苦鉄質火山岩類と非アルカリ火砕流である。姫川—関川間の流域グループやその中の能生川流域については、約 80%が堆積岩類であるが、これも大地溝帯形成期の堆積物である。20%程度火山岩類が占めているが、これは同時期の非アルカリ苦鉄質火山岩類や珪長質火山岩類（非アルカリ貫入岩）などである。大地溝帯地域においては、他の地域に比較して堆積岩が多くなっているが、その多くは新第三紀のものであり、大地溝帯形成期のものである。

糸魚川静岡構造線より西側の地域にあるのは、姫川流域と姫川—黒部間の流域グループ、黒部川流域である。QGIS の分析から、姫川流域には青海—蓮華帯とよばれる古生代に形成されたメランジュ基質の付加体やジュラ紀の堆積岩類が左岸側にみられ、その上に比較的新しい中新世の非海成の堆積岩やさらに更新世や第四紀の火山活動による火山岩が堆積していることがわかった。約 40%の堆積岩類の大半は姫川右岸側に分布しているが、主として中新世に形成されたものであり大地溝帯と関係している。同時期に形成された堆積層は、横川層、仙翁沢層、前沢層、梶山層などであるが、これらの地層の主体は暗灰色から灰色の泥岩や砂岩層である。約 30%程度の火山岩類は相対的に苦鉄質のものが多く、その他 15%の大半は形成年代不明の超苦鉄質岩類であった。姫川と黒部川に挟まれた地域は、姫川に類似した地質状況となっていた。黒部川流域には深成岩が多い。この地域で見られる船津花崗岩類と新期領家花崗岩類を合わせると、花崗岩と花崗閃緑岩の比率は 5 : 4 程度となっていた。

各流域あるいは流域グループの地質状況の差異を明確にするために、地質項目の面積比率を用いて主成分分析

図-2 流域あるいは流域グループの地質状況

図-3 主成分分析における固有ベクトル

図-4 主成分得点の散布図

を行った。検討対象地域に存在する様々な地質項目の中で、面積率が 1%未満のものについては分析対象外とした。図-3 は主成分分析により得られた固有ベクトルであ

る。同図の縦軸は分析対象の地質項目である。第1から第3までの主成分の寄与率はそれぞれ35%, 29%, 15%であり、ここでは第2主成分までを検討対象とする。第1主成分は、非海成の堆積岩類が顕著なプラス、珪長質深成岩と付加コンプレックスのメラングジュ基質がマイナスを示している。第1主成分において固有ベクトルがマイナスであった地質項目が、第2主成分においてもマイナスになっている。また、第2主成分では非アルカリ苦鉄質火山岩類が大きなプラスになっている。非海成堆積岩は中新世に形成されたものが大半であり、大地溝帯の形成に関係する。非アルカリ苦鉄質火山岩類は新第三紀のものが中心である。これらのことから、第1主成分がプラスであることは大地溝帯の堆積岩類が多いこと、第2主成分のプラスは中新世以降の火山活動による非アルカリ苦鉄質火山岩類が多いことを示している。両軸がマイナスになる第3象限は、中生代の付加体あるいは珪長質深成岩が多いことを示している。

図-4は流域あるいは流域グループの主成分得点の散布図である。第1主成分軸付近に、関川-姫川間の流域グループ、そのグループ内の能生川、関川流域が分布しており、これらはいずれも図-1で示した大地溝帯領域の西側領域に属している。第2主成分軸付近には、谷根川、鵜川、鯖石川の流域、これらを含む信濃川-関川間の流域グループが分布している。新発田-小出構造線よりも北側の地域においては、火山岩類の多い地域になっている。第3象限には黒部川流域、阿賀野川流域とそれより東側の河川流域や流域グループが分布している。

4. 海岸河川砂の色の特徴と地質との関係

全ての砂サンプルの21色の相対頻度に主成分分析を適用した。その結果、第1から第3までの主成分の寄与率がそれぞれ45%, 24%, 11%となったが、ここでは第2主成分まで検討する。図-5に固有ベクトルを示している。第1主成分はG70~90の濃い灰色、BC4, 5といった濃い寒色系茶色（こげ茶色）が負値となっており、G20~50の薄い灰色、BC1~3の薄い寒色系茶色、BW1~4の暖色系茶色（茶色）の明るい色が総じて正値をとっている。こうしたことから、第1主成分は明暗の程度を表示すると考えられる。第2主成分はG20~70の灰色が正値、BC4, 5, BW全般が負値となっており、灰色系と茶色の関係を示していることがわかる。

図-6は第1, 第2主成分の主成分得点の散布図である。(a), (b)はそれぞれ阿賀野川河口より東側と西側の地域をまとめて示している。

赤川-荒川間においては、2笹川流れ、3笹川、4岩崎の3海岸の砂は茶色系で、全ての砂サンプルの中で最も明るい色を持っていた。これは、既述の通り、流域グル

ープ内の朝日帯の珪長質深成岩類による。詳細に検討するために、図-7(a)にこの地域の5海岸の半径5km以内の地質を示している。地質項目は図-3と同様である。これらの海岸の背後地が概ね新期領家花崗岩類によって占められていることにより、非常に明るい茶色になったことがわかる。5瀬波海岸は、2から4の海岸に比較して暗い色を持つ。図-7(a)のように5瀬波海岸周辺地域の大半は堆積岩類であり、その大半は第四紀のものであった。また、この海岸は三面川の河口付近にあることから、同河川流域全体の地質の影響であると考えられる。図-6(a)の1基石海岸は、2から4と同じの地域にあるにも拘わらず暗い色になっている。これは、図-7(a)のように、背後地に非アルカリ苦鉄質火山岩類が広く分布していることによる。図-6(a)の6は荒川河口の河川砂であり、7, 8番は河口付近に位置する海岸である。赤川-荒川間の流域グループの海岸に比較して暗いものの、相対的に明るい色を持っている。6, 7は第2主成分の得点がプラスになっており、灰色系統の色であることがわかる。図-2のように、この流域グループは堆積岩類が多いが、当該海岸近くの地質年代は後期更新世以降の第四紀のものであり、この堆積物は荒川流域から輸送されたものであると推測される。荒川流域においては、朝日帯の深成岩類と火山岩類ともに相対的に苦鉄質より珪長質が多い。こうしたことから、海岸砂がこのような明るい色になったものと考えられる。但し、赤川-荒川間が茶色系であるのに対して、荒川流域が灰色系になった理由はわからない。図-6(a)の9胎内川について、第1主成分、第2主成分ともに得点は0に近い。図-2で示したように、同河川の流域地質の大半が中生代の付加体の基質であることから、この地質によって特異な色は生じないことになる。10から14は荒川-阿賀野川間の海岸あるいは河川の砂である。図-2より、この流域グループの地質は、荒川に比較して付加体が多く火山岩類が少ない。火山岩類の大半が珪長質火山岩類であること、既述の9胎内川の河川砂の主成分得点を考慮すると、11, 13, 14が荒川河口付近の砂より暗い色になっているのは、珪長質火山岩類と付加体の基質によるものであると考えられる。16阿賀野川の河川砂の色は、荒川-阿賀野川間の海岸砂に近く、これらの海岸に対する阿賀野川の影響も想定される。

図-6(b)の中で最も明るい色となっているのは、大河津分水路以東の領域である。27信濃川の砂は大河津分水路への分流地点より上流側で採集されているが、18, 19, 21~25の海岸の砂の色は27信濃川と16阿賀野川の中間的な色合いである。20小針浜については、これらとは異なる色彩になっているが、その理由は不明である。26寺泊海岸の背後地には、新潟油田地域によくみられる寺泊層と呼ばれる中新世中期から後期に形成された地層が分布している。この地層は暗灰色から黒色の泥岩と灰白色

の砂岩と泥岩砂岩の互層であり、火山由来の層も含まれる。^{10,11,12)}こうした地層により、26 寺泊は周辺海岸や 27 信濃川の河川砂より暗い色になったと考えられる。

28 から 31 までの海岸は、大河津分水路と鯖石川河口付近との間に挟まれた地域である。図-2 のように関川—信濃川間の地域は既述の通り堆積岩が多い。図-7(b)は大河津分水路から西側の地域のいくつかの海岸の周辺 5km の地質である。29 石地、31 椎谷の周辺は堆積岩が広く覆っているが、この新潟油田地域は北から西山層、椎谷層、既述の寺泊層など新第三紀の地層が分布している。西山層は灰緑から暗灰色の泥岩層、椎谷層は寺泊層と類似した地層であるとされる。⁹⁾大河津分水路以東の地域より相対的に暗いが、第 2 主成分軸の得点は 0 付近である。こうした色の特徴は、これらの層の暗色の泥岩によるものであると考えられる。32 高浜と 34 スポーツランドは 33 鯖石川を挟むように位置している。既述の通り、鯖石川流域には新第三紀の火山岩類と概ね同時期に形成された海成の堆積岩類が広がっている。図-7(b)の 38 米山海岸付近に非アルカリ苦鉄質火山岩類が多いように、もともと海底火山であった米山も苦鉄質火山岩類に覆われており、また同時期に形成された堆積岩類もこの火山に由来するものである。32、34 は 33 と類似した色彩を持つことから、鯖石川の影響が大きいと考えられるが、この地域の海岸砂の色が茶色で暗いのは、米山由来の苦鉄質の火山噴火物の影響が強いことによると考えられる。

信濃川—関川間で鯖石川河口付近より西側の地域に含まれる、36、37、40 の海岸と 38 谷根川、39 鵜川は、調査海岸の中で最も暗く茶色系の色の砂を持っていた。図-2 より谷根川流域の大半が火山岩類であるが、その全てが米山の非アルカリ苦鉄質火山岩類である。従って、この非アルカリ苦鉄質火山岩類が茶色系暗色の主因である。図-7(b)の 37 柏崎についても、付近にこの火山岩類はない。また、図-2 のように 39 鵜川の流域の半分は堆積岩類であるにも拘わらず、これらの海岸や河川は 39 谷根川と類似した色彩を持っている。これらのことから、この堆積岩類もこの非アルカリ苦鉄質堆積岩類に類似した色を持つことが推測される。

41 から 47 までは関川流域と関川—姫川間の流域グループにある海岸砂と河川砂である。この地域の砂の色は変化に富んでいる。関川流域、関川—姫川間の流域グループの堆積岩類の大半は新第三紀のものである。この地域の新第三紀の主な地層は、難波山層、能生谷層、川詰層、名立層、谷浜層などである。これらの層は、砂岩泥岩のフレッシュ型互層、黒色泥岩、暗灰色の泥岩、礫岩と砂岩、淡灰色の凝灰質砂岩など様々な色を持っている。⁹⁾海岸や河川砂の色の変動が大きいのはこのことによると考えられる。48 から 51 は姫川流域と姫川—黒部川間の流域グループの海岸と河川である。他の地域に比較

図-5 色の主成分分析の固有ベクトル

(a) 阿賀野川河口以東の地域

(b) 信濃川河口以西の地域

図-6 海岸砂と河川砂の色の主成分得点散布図

して灰色系統で最も暗い色となっているが、図-2 のように地質は特徴的なものではないことから、砂の色の要因を見出すことはできなかった。

5. まとめ

本研究では、新潟県内の諸海岸の砂の色彩を定量的に明らかにするとともに、それと近隣河川の砂の色彩や河

川流域等の地質状況との関係性について検討した。

同県の東西端に中生代の古い地質があり、中央付近に大地溝帯や火山があるなど、地質状況は地域的に大きく変化した。この影響により、海岸砂についても地域によって様々な色彩を持つことを確認した。例えば、荒川以東の地域の海岸は、これは朝日帯の珧長質深成岩類により、県内で最も明るい色彩を持っていた。また、大地溝帯域の海岸砂は総じて暗い色を持つが、とくに、非アルカリ苦鉄質火山岩類が多い地域では茶色系暗色を持つことがわかった。

謝辞：本研究の一部は、神戸市立工業高等専門学校と長岡技術科学大学の共同研究として実施された。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 玉井昌宏, 辻本剛三: 砂浜の色彩の相互比較と近隣河川の流域地質との関係, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.68, No.4, pp.660-665, 2012.
- 2) 辻本剛三, 玉井昌宏, 他 2 名: 砂浜底質の色彩分析とその活用方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, pp.1456-1460, 2012.
- 3) 玉井昌宏, 辻本剛三, 藤岡佑樹: 淡路島の流域地質と海岸底質に着目した海浜特性, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.4, pp.784-789, 2013.
- 4) 辻本剛三, 玉井昌宏: 色彩に基づく鉱物分析による淡路島内の海浜への河川の影響度, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), No.71, No.2, 2014.
- 5) 辻本剛三, 高野保英, 玉井昌宏: 底質の化学元素に着目した沿岸域の漂砂と海浜特性に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, pp.I_751-I_756, 2015.
- 6) 玉井昌宏, 辻本剛三: 琵琶湖の水泳場の底質の色彩と流域地質との関係, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, No.4, 2014.
- 7) (社)新潟県地質調査業協会: 新潟県の地質のあらまし, <https://www.niigata-geo.or.jp/documents/aramashi.pdf>
- 8) 勘米良亀齡, 橋本光男, 松田時彦編: 新生代後期の地層群, 日本の地質, 第 5 章, pp.143-194, 地球科学選書, 岩波書店, 1992.

(a) 赤川ー荒川間の諸海岸

(b) 大地溝帯内の柏崎千葉構造性以東の諸海岸

図-7 海岸周辺 5km 範囲内の地質状況

- 9) 日本の地質「中部地方 I」編集委員会編: 日本の地質 4 中部地方 I, 共立出版, 1988.
- 10) 菊池かおる, 黒川勝己, 丸山直子, 落合浩代, 小林巖雄: 新潟油田地域, 灰爪層・西山層と魚沼層群の火山灰層による対比, 地質学雑誌, 第 90 号, pp.101-115, 1984.
- 11) 水野恵司: 新潟県寺泊・椎谷層泥岩分布地域の地すべりと斜面形, 地すべり, 第 28 巻, 第 2 号, pp.33-39, 1991.
- 12) 井上洋子, 加藤進, 三輪美智子: 新潟地域の寺泊層下部の有孔虫化石群集, 瑞浪市化石博物館研究報告, 34 号, pp.99-110, 2009.

(2016.2.4 受付)

SAND COLOR CHARACTERISTICS OF BEACHES IN NIIGATA PREFECTURE AND THEIR RELATIONSHIPS WITH GEOLOGICAL FEATURES

Masahiro TAMAI, Gozo TSUJIMOTO and Tokuzo HOSOYAMADA

Purposes of the present study are to obtain quantitatively color characteristics of sands which were collected in 41 beaches in Niigata Pref., Japan and to examine relationships between the color characteristics and geological features of river drainage areas which are adjacent to the beaches or of area within 5km distance from the beaches. The geological features drastically changes because of some tectonic lines, the Fossa Magna and so on and accordingly beach sands have a variety of colors. Some relationships between sand colors and geological features are clarified, such as that the beaches in the east side of Agano River have bright color sands owing to felsic plutonic rocks of the late Cretaceous and that those in the Fossa Magna area have dark color sands under the influence of non-alkaline mafic volcanic rocks and sedimentary rocks in the Niigata Oil Field.