

湘南海岸海浜部における土壤中の水溶性イオンの分布特性

岡浩平¹・吉崎真司²

On the Water solubility ion in the soil at Shonan Beach, Kanagawa Prefecture

Kohei OKA¹, Shinji YOSHIKAZI²

Abstract: A field survey was conducted on the water solubility ion in the soil at the Shonan beach, Kanagawa prefecture. As a result, it was considered that ion composition in the soil of beach was greatly affected by salt water, because main constituent in the salt water was high. It was also supposed that Na^+ ion was main constituent of the water solubility ion and greatly affected chemical condition in the soil. Furthermore the water solubility ion such as Na^+ and Cl^- was related to the development of coastal vegetation. Further study would be necessary to make clear the relationship between Na^+ ion and coastal vegetation.

1. はじめに

わが国の海岸事業はこれまで海岸防護を目的におこなわれてきたが、平成11年の海岸法の改正により、総合的な視点に立った海岸の管理を行う観点から、「海岸環境の整備と保全」及び「公衆の海岸の適正な利用」の観点に加えられた¹⁾。このような背景の中で各地の海岸では砂浜の保全・復元により生物の生育・生息地を確保しつつ、景観上もすぐれた人と海の自然のふれあいの場を整備する「海岸環境整備事業」が実施されている²⁾。

砂浜は海からの影響を強く受け、砂の移動や波浪などの影響を受ける特殊な環境下にある。そのため、砂浜では砂の移動や塩分に耐性のあるコウボウムギなどの限られた植物が生育する植生が成立している。

砂浜の植生を保全・復元するためには、海浜部における環境要因が植生の成立に及ぼす影響を把握することが重要である。砂浜の植生に影響を及ぼす要因として、飛砂、塩分、乾燥、地温、風、貧栄養などの要因が挙げられる。飛砂に関しては、砂の移動と植生との関係³⁾⁴⁾などが明らかにされている。塩分については、海浜植物の耐塩性¹⁰⁾、大気や土壤中の塩分が植生に及ぼす影響⁶⁾、砂浜の土壤中の電気伝導度やpHの分布特性¹³⁾などの研究が行われており、植生と塩分の関係については明らかにされつつある。しかしながら、土壤中の塩分に影響を及ぼす土壤中の水溶性陽イオンや陰イオンの分布特性については十分な研究が行われていない。そこで、本研究では海浜部の土壤特性、特に水溶性イオンの分布特性を明らかにすることを目的とした。

本研究をまとめるにあたり、藤沢土木事務所なぎさ港湾課の方々には数々の便宜を図っていただきました。また武蔵工業大学工学部の高砂子昌久助教授には貴重なご意見をいただきました。これらの方々には厚くお礼申し上げます。

1・2: 武蔵工業大学大学院環境情報学研究科
Faculty of Environmental and Information Studies,
Musashi Institute of Technology

2. 研究対象地

湘南海岸は神奈川県相模湾に面した場所に位置する(図1)。湘南海岸では海岸線が伸長傾向にある場所があるなど¹⁴⁾、比較的自然海岸が残されている。

対象地に最も近い辻堂観測所のデータ(1995年~2004年)によると、年平均気温16.1℃、年平均降水量1557.9mm、年平均風速3.3m/sである。年間を通して、南南西の風が卓越し、砂浜に隣接する構造物などに飛砂害が起きている。対象地の表層砂の平均粒径は0.27mmである¹⁵⁾。

3. 調査方法

神奈川県湘南海岸の辻堂西海岸の砂浜上に調査測線を設置し、土壤調査を行った。調査測線は汀線から直角になるように内陸に向かって延長し、砂浜に隣接されている自転車道までとした。土壤採取は2003年10月9日に行った。辻堂地域気象観測所のデータによると、土壤採取日である2003年10月9日の前日、前々日は降雨がなかったため、降雨の影響は弱いと思われる。

土壤採取は汀線から20m地点を起点に10m間隔で6地点において、深さ1mまでを6層(0~5cm, 5~10cm, 10~30cm, 30~50cm, 50~70cm, 70~100cm)に分けて行った。未風乾土200~300gから飽和抽出液を作成し、土壤溶液とした。土壤溶液では水溶性陽イオン(Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+})、水溶性陰イオン(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})、pH、電気伝導度を測定した。陽イオンは原子吸光度計(A-2000)、陰イ



図1 研究対象地位置図

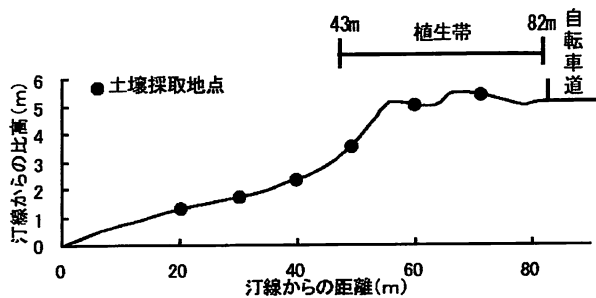


図2 調査測線の地形と植生帯について

オンはイオンクロマトグラフ (DX-100) で測定を行った。

調査測線上に5m 間隔で1×2m 方形区を設置し、植生調査を行った。植生調査では方形区内に出現した種の被度及び総植被率を記録した。また水準測量によって調査測線の地形状況を把握した。

4. 結果

4.1 植生及び地形

植生調査では、コウボウムギ、ハマニガナ、メヒシバの3種が出現し、すべての調査地点でコウボウムギが優占していた。植生帯は汀線から43m 地点から成立しており、その植被率は30~65%であった(図2)。また砂浜の幅は82m であった。

4.2 土壌

4.2.1 水溶性陽イオン (図3 上段)

水溶性陽イオンは海水の主成分であるNa⁺イオンが0.38~5.4mmol/l と他のイオンと比べて高い値を示した。K⁺イオンは0.02~0.18mmol/l、Ca²⁺イオンは0.02

~0.24mmol/l、Mg²⁺イオンは0.01~0.11mmol/l の値を示した。全地点における陽イオンの平均値を比較したところ、Na⁺>K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺の順に高い値であることが認められた(p<0.01)。

各水溶性陽イオンは濃度に違いがあるものの、水平分布及び鉛直分布ともに同様の傾向を示した。水平分布では汀線から20m 地点が最大値を示し、70m 地点に向かって低下していく傾向にあった。つまり汀線側から内陸方向に向かって低下していき、その傾向は表層(0-5cm)において顕著であった。

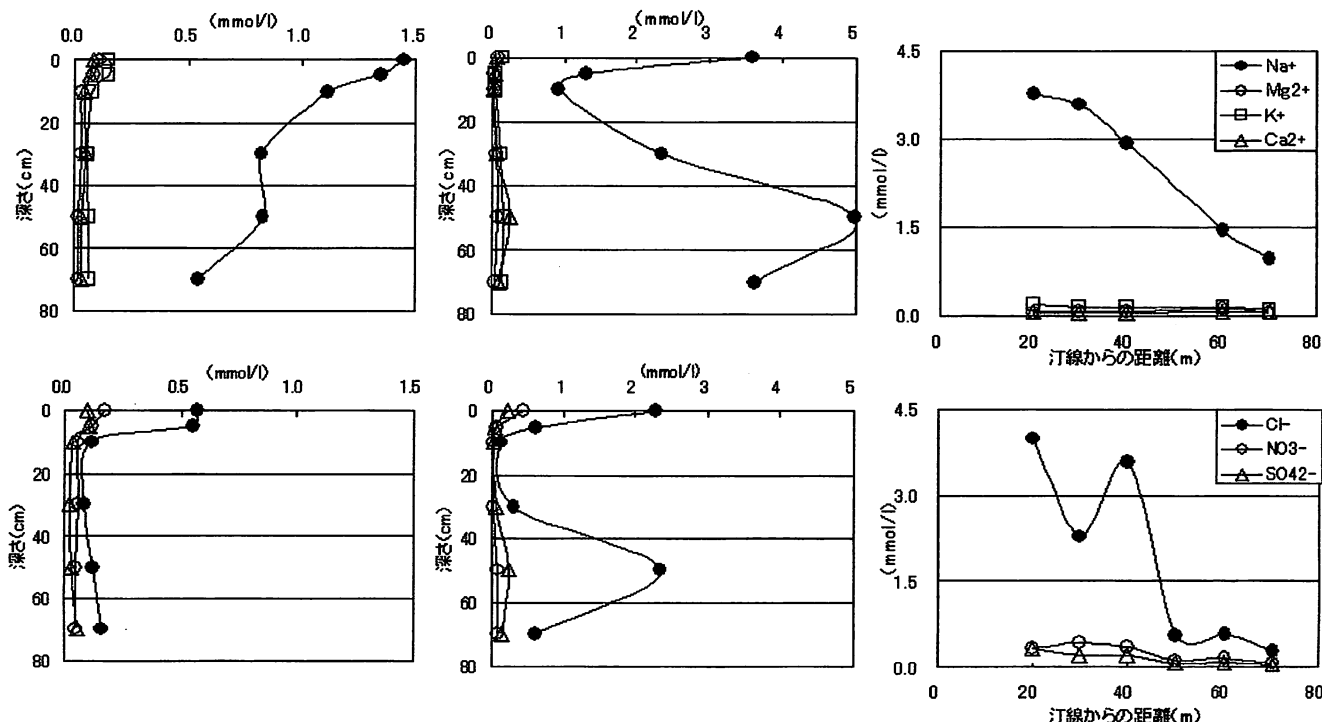
鉛直分布では表層から下層に向かって低下する傾向を示した。また汀線に近い20m、30m 地点では、表層から下層に向かって低下していくものの、下層の50cm 以深で再上昇する傾向にあった。その傾向は特にNa⁺イオンにおいて顕著であった。

4.2.2 水溶性陰イオン (図3 下段)

水溶性陰イオンにおいても海水の主成分であるCl⁻イオンが0.08~4.00mmol/l で最も高い値を示した。NO₃⁻イオンは0.01~0.43mmol/l、SO₄²⁻イオンは0.02~0.34mmol/l の値を示した。全地点における陰イオンの平均値を比較したところ、Cl⁻>NO₃⁻≒SO₄²⁻の順に高い値を示すことが認められた(p<0.01)。

陽イオンと同様に、各水溶性陰イオンの水平分布及び鉛直分布は同様の傾向を示した。水平分布では汀線から内陸に向かって低下し、特に50m 地点で急激に低下する傾向にあった。表層のCl⁻イオンに着目すると、40m 地点では3.59mmol/l であったのに対して、50m 地点では0.55mmol/l と1/6 以下に値が低下した。

鉛直分布では表層ほど高く、下層に向かって低下する傾向にあった。特にCl⁻イオンは表層から下層に向



上段：水溶性陽イオン (左) 60m 地点の鉛直分布、(中) 30m 地点の鉛直分布、(右) 0-5cm の水平分布

下段：水溶性陰イオン (左) 60m 地点の鉛直分布、(中) 30m 地点の鉛直分布、(右) 0-5cm の水平分布

図3 水溶性陽イオン及び陰イオンの水平・鉛直分布

表1 植生の有無に分けた水溶性イオンの濃度比較

	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
植生無(20m~40m)	2.32±1.48	0.04±0.02	0.1±0.05	0.07±0.05	0.99±1.23	0.11±0.13	0.12±0.1
植生有(50m~70m)	0.89±0.28	0.03±0.02	0.09±0.03	0.05±0.02	0.21±0.16	0.05±0.04	0.04±0.02
平均値の差の検定	**				*		**

※ 単位: mmol/l ※※ **p<0.01 *p<0.05

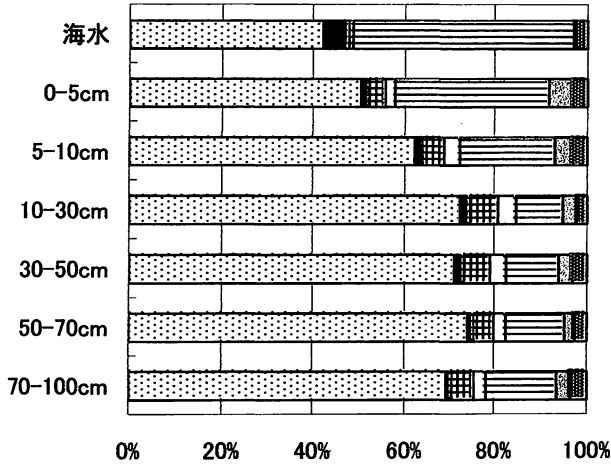


図4 水溶性イオンの鉛直分布における割合 (全地点の平均値)

かって急激に低下した。また陽イオンと同様に、汀線付近の地点において、表層だけでなく50cm以深で高い値を示した。

4.2.3 全水溶性イオン

各イオン間の関係性を把握するために、各水溶性イオンの相関関係を調べたところ、Ca²⁺とNO₃⁻間を除いて、各イオン間には相関関係が認められ(p<0.01)、各イオンは同調して分布する傾向にあった。また全地点の平均値におけるイオン組成はNa⁺>Cl⁻>K⁺≒NO₃⁻≒SO₄²⁻>Ca²⁺>Mg²⁺の順番であった(p<0.01)。

表1に汀線から20~40mの植生が無い地点(植生無)と50~70m地点の植生が成立していた地点(植生有)に分けた各水溶性イオン濃度を示す。各水溶性イオンは汀線に近い植生無の地点の方が植生有の地点に比べて高い傾向にあり、特にNa⁺、Cl⁻、SO₄²⁻では有意に高かった。

図4に水溶性イオンの鉛直分布における割合を示す。なお、海水の値はH.D.ホランド(1979)の一般的な海水のイオン組成より算出した。どの深さにおいてもNa⁺イオンが最も高く、次にCl⁻イオンが高い割合を占めた。またNa⁺イオンの割合は表層から下層に向かって高くなる傾向にあった。逆にCl⁻イオンでは表層ほど高く、下層に向かって低下する傾向にあった。その他のイオンでは表層から下層に向かってほぼ一定の割合を占めており、大きな変動を示さなかった。またNa⁺とCl⁻イオンに着目すると、表層付近ほど海水に近いイオン組成を示した。

次に図5に水溶性イオンの水平分布における割合を示す。鉛直分布と同様に、全地点においてNa⁺イオンが最も高い割合を占め、どの地点もほぼ同じ値を示した。Na⁺イオンの次に高い割合を占めたCl⁻イオンは植

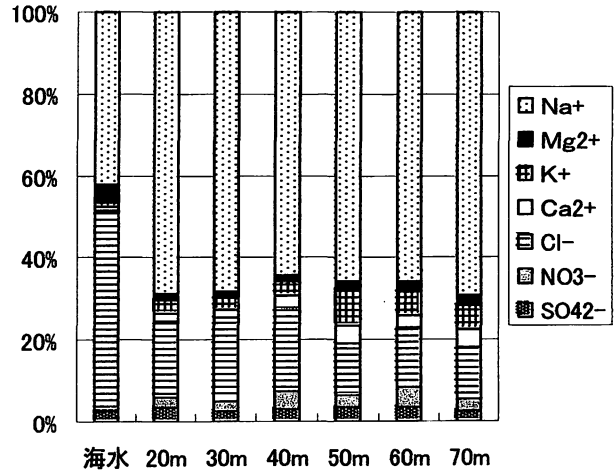


図5 水溶性イオンの水平分布における割合 (全深さの平均値)

生無の20~40m地点で18.5~20.5%、植生有の50~70m地点で12.5~14.5%を示し、植生有地点の方が低い割合を示す傾向にあった。その他のイオンでは汀線から内陸方向に向かって、占める割合がやや高くなる傾向にあった。

4.2.4 pH

土壌中のpHは6.98~9.26の値を示し、中性~強アルカリ性であった。水平分布において、表層では汀線からの距離の違いによる大きな値の変動はみられなかったが、下層では汀線側ほどアルカリ性を示し、内陸にいくにつれて中性に向かった。鉛直分布において、汀線から20m~40mの地点では表層から下層にいくほどアルカリ性に向かったが、それより内陸側では一定の傾向を示さなかった。

pHと各水溶性イオンの相関係数を表2に示す。pHはNa⁺イオンとSO₄²⁻イオンとの間に相関関係が認められ、特にNa⁺イオンと比較的強い正の相関関係(R=0.6)が認められた(p<0.01)。

4.2.5 電気伝導度

電気伝導度(EC)は0.08~0.633mS/cmの値を示した。電気伝導度の水平分布及び鉛直分布は水溶性イオンと同様の傾向を示した。水平分布では汀線から内陸に向かって低下していき、特に50m地点を境に急激に低下した。鉛直分布では汀線に近い20~40m地点にお

表2 pH及びECと水溶性イオンの相関係数

	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
pH	0.61**	0.28	0.31	0.41*	0.13	-0.07	0.34**
EC	0.90**	0.58**	0.63**	0.64**	0.68**	0.40*	0.80**

※ **p<0.01 *p<0.05

いて、表層と下層（50cm 以深）の値が高くなる傾向が顕著であった。また 50m～70m 地点（植生有）では、比較的表層が高い値を示し、下層では高い値を示すことはなかった。

電気伝導度は全水溶性イオンと正の相関関係が認められたが、特に Na⁺イオンと強い正の相関関係 (R=0.9) が認められた (p<0.01)。

なお、付表 1 に土壤分析結果の詳細を示す。

5. 考察

5.1 水溶性イオンの分布特性

土壤中の水溶性イオンの組成は海水の主成分である Na⁺イオンと Cl⁻イオンが極端に高い値を示し、全地点の平均値では Na⁺>Cl⁻>K⁺≒NO₃⁻≒SO₄²⁻>Ca²⁺>Mg²⁺の順番であった。海水の成分は一般的に Na⁺イオンと Cl⁻イオンが高い割合を占めていることから、対象地の砂浜の土壤中の水溶性イオンは、海水由来であるものが多いと推察された。

各水溶性陽イオンと陰イオンは鉛直分布及び水平分布において同様の分布傾向を示した。水平分布では汀線側ほど高く、内陸に向かって低下していく傾向にあった。これは汀線付近ほど海塩飛沫の影響を受けているためと思われる。また各水溶性イオンは 40m 地点から 50m 地点にかけて急激に低下する傾向にあった。50m 地点の前方には堆砂垣によって緩やかな浜崖が形成されており、この浜崖が風速を減少させ、飛塩を捕捉していると考えられた。その結果、浜崖部より前方の地点では各水溶性イオンの値が高く、その後方にある汀段部では低くなったと予想された。

各イオンの鉛直分布では表層から下層に向かって低下する傾向にあった。また汀線に近い場所では 50cm 以深において、各イオンの値が上昇する傾向にあった。吉崎ら (2004) は表層が高いのは海塩飛沫の影響であり、その下層における濃度の低下は降雨による下方浸透であると述べており、また下層での塩分濃度の上昇については、地下水の影響を示唆するものとしている。本対象地についても同様の現象が起きたものと類推された。

5.2 Na⁺イオンと Cl⁻イオンの分布特性

水溶性イオンの中で特に高い値を示した Na⁺イオンと Cl⁻イオンは表層と下層で異なる分布を示した。表層では Na⁺イオンだけでなく Cl⁻イオンも高い割合を占めたが、5cm 以深では Na⁺イオンの割合が増加したのに対して、Cl⁻イオンでは低下していった。表層には飛塩飛沫の影響から Na⁺イオンと Cl⁻イオンがともに多く供給されるが、土壤中のイオンの溶脱過程の中で、両者の下層における分布の違いが生じたと予想された。山本 (1996) は砂丘砂にわずかであるが含まれる粘土分が陽イオン交換体として作用し、Na⁺が粘土表面の陽イオン交換座に吸着されその部位を飽和しながら下方移動していくため、Cl⁻より Na⁺の方が下方移動しにくいと報告している。このような両者の下方への移動速度の違いが要因となり、5cm 以深では Cl⁻イオンより下方移動しにくい Na⁺イオンが高い割合を示したのではないかと考えられた。以上のことから、土壤中のイオンの主体は表層では Na⁺と Cl⁻イオン、下層 (5cm 以深) では Na⁺イオンであるといえる。

pH と Na⁺イオンに強い相関関係が認められたことから、土壤中の pH の動態に Na⁺イオンが何らかの影響を及ぼしていることが示唆された。また砂浜の土壤中の pH には炭酸塩の影響が強いことが知られていることから^[4]、pH が強アルカリ性を示した地点では、強アルカリ性を示す NaHCO₃や Na₂CO₃が土壤中に蓄積していることが示唆された。

土壤溶液の電気伝導度の値は水溶性塩類の総量を反映する^[2]。電気伝導度は特に Na⁺イオンと強い正の相関関係が認められた。また土壤中の各層において、Na⁺イオンが高濃度で分布し、また pH への影響が示唆された。以上のことから、砂浜の土壤中の水溶性イオンでは海水の主成分である Na⁺イオンが主体であると考えられた。また Na⁺イオンは砂浜の土壤の化学性に強い影響を及ぼしていることが予想された。

5.3 水溶性イオンと植生の成立条件

対象地の植生は汀線から 43m 地点の緩やかな浜崖部から成立していた。また水溶性イオンの急変部も浜崖部にあり、植生の開始地点と水溶性イオンの急変部がほぼ一致していた。つまり植生はイオン濃度の比較的低い場所に成立していた。また水溶性塩類は土壤コロイドに電気的に吸着保持されている交換態に比べて、水に容易に溶け、土壤溶液の濃度を上昇させるため、作物に濃度障害を引き起こしやすいとされている^[2]。これらのことから、Na⁺イオンを主とする水溶性イオンの動態が砂浜における植生の成立に対して何らかの影響を及ぼしていると考えられた。また浜崖部は海塩飛沫の捕捉や台風時などの遡上波の侵入を抑制することによって、土壤中のイオン組成を変化させ、それにより後方の汀段部の植生の成立に何らかの影響を及ぼしていることが示唆された。

6. まとめ及び今後の課題

神奈川県湘南海岸の海浜部を対象として、土壤中の水溶性イオンなどの土壤特性に関する調査・解析を行った。その結果、砂浜の土壤中のイオン組成は、海水の主成分が多く分布したことから、海水の影響を強く受けていると考えられた。また Na⁺イオンは土壤中の水溶性イオンの主体であるとともに、土壤の化学性に強い影響を及ぼしていることが示唆された。

また水溶性イオン濃度の比較的低い場所に植生が成立しており、水溶性イオンが植生に何らかの影響を及ぼしていると考えられた。

今後は土壤中の Na⁺イオンを代表とする水溶性イオンと海浜植生の対応関係をより詳細に明らかにしていくことが必要であると考えられる。

引用文献

- [1] H.D.ホランド (1979) 大気・河川・海洋の化学—環境科学持論—, 産業図書株式会社, pp.318.
- [2] 本名俊正他 (1996) 黄河流域・寧夏回族自治区・五星村の灌漑土壤の特徴 I. 土壤の理化学的特徴, 日本砂丘学会誌 43 (2), pp.1-8.
- [3] 神奈川県 (2002) かながわ県の海岸, pp.20.
- [4] 環境省編 (2002) 新生物多様性国家戦略～自然の保全と再生のための基本計画～, 株式会社ぎょうせい, pp.315.

- [5] 環境省(2004)環境白書(平成16年版), 株式会社ぎょうせい, pp.282.
- [6] 灘岡和夫他(1996), 大気および土壌中の塩分からみた砂浜海岸植生環境について, 海岸工学論文集第43巻, pp.1171-1175.
- [7] 延原肇(1962)海岸植物群落の環境系把握の方法 砂丘研究9(1), pp.1-8.
- [8] 岡浩平他(2004)湘南海岸における表層砂の粒径分布特性, 日本海岸林学会平成16年度研究発表会要旨集, pp.20-21.
- [9] 笹木義雄他(1992)海岸砂丘地における飛砂が植生に及ぼす影響, 広島大学総合科学部紀要IV第17巻, pp.59-71.
- [10] SHIN-ICHI ISHIKAWA et al.(1995)Zonal plant distribution and edaphic and micrometeorological conditions on a coastal sand dune, Ecological Research Vol.10, No3, pp.259-266.
- [11] 須田有輔他(2002)砂浜海岸の生態学, 東海大学出版会, pp.427.
- [12] 山本定博他(1990)乾燥条件下における塩水灌漑に関する基礎的研究(第1報)砂丘砂中の水分, Na⁺, Cl⁻の動態, 鳥取大学農学部砂丘研究所報告, pp.29-35.
- [13] 吉崎真司他(2004)湘南海岸海浜部における植生の成立条件としての地形と土壌特性について, 海岸林学会誌3(2), pp.13-18.

[受付 2005年1月10日, 受理 2005年6月20日]

付表1 土壌分析結果の詳細

汀線からの距離	深さ	pH	EC (mS/cm)	陽イオン(mmol/l)			陰イオン(mmol/l)			
				Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
20m	0-5cm	8.08	0.478	3.78	0.06	0.18	0.06	4.00	0.34	0.34
	5-10cm	8.74	0.265	1.76	0.04	0.13	0.06	0.60	0.14	0.10
	10-30cm	8.84	0.326	2.27	0.05	0.13	0.09	0.24	0.09	0.07
	30-50cm	8.89	0.337	1.78	0.03	0.10	0.04	0.15	0.01	0.10
	50-70cm	9.11	0.408	3.27	0.05	0.13	0.06	0.25	0.04	0.09
	70-100cm	9.08	0.58	5.40	0.05	0.16	0.16	2.00	0.07	0.30
30m	0-5cm	7.85	0.348	3.58	0.07	0.13	0.06	2.29	0.43	0.21
	5-10cm	8.45	0.213	1.30	0.02	0.04	0.03	0.60	0.06	0.04
	10-30cm	8.36	0.192	0.91	0.02	0.05	0.03	0.11	0.03	0.03
	30-50cm	9.26	0.428	2.35	0.06	0.12	0.06	0.30	0.02	0.06
	50-70cm	8.79	0.633	4.97	0.08	0.14	0.24	2.36	0.07	0.24
	70-100cm	9.06	0.466	3.63	0.05	0.12	0.09	0.62	0.07	0.13
40m	0-5cm	7.7	0.48	2.93	0.07	0.14	0.06	3.59	0.37	0.22
	5-10cm	8.19	0.24	0.85	0.02	0.05	0.06	0.32	0.11	0.07
	10-30cm	7.84	0.118	0.66	0.02	0.04	0.05	0.16	0.03	0.02
	30-50cm	7.61	0.093	0.38	0.01	0.03	0.02	0.08	0.03	0.02
	50-70cm	8.37	0.289	0.55	0.01	0.02	0.03	0.11	0.02	0.03
	70-100cm	8.62	0.36	1.42	0.01	0.04	0.05	0.13	0.01	0.03
50m	0-5cm	7.54	0.136	-	-	-	-	0.55	0.12	0.08
	5-10cm	7.3	0.08	0.85	0.02	0.10	0.05	0.18	0.03	0.04
	10-30cm	7.6	0.064	0.54	0.02	0.10	0.05	0.08	0.02	0.02
	30-50cm	7.53	0.068	0.51	0.02	0.09	0.04	0.12	0.03	0.03
	50-70cm	6.98	0.053	0.85	0.01	0.05	0.04	0.10	0.03	0.03
	70-100cm	7.14	0.069	0.67	0.02	0.09	0.04	0.17	0.03	0.04
60m	0-5cm	7.82	0.193	1.44	0.11	0.14	0.08	0.57	0.17	0.10
	5-10cm	7.94	0.342	1.35	0.08	0.14	0.07	0.55	0.11	0.10
	10-30cm	8.11	0.151	1.12	0.03	0.07	0.04	0.11	0.05	0.04
	30-50cm	7.63	0.08	0.83	0.03	0.06	0.05	0.08	0.06	0.02
	50-70cm	7.68	0.117	0.83	0.02	0.06	0.03	0.12	0.05	0.03
	70-100cm	7.65	0.101	0.54	0.02	0.06	0.03	0.16	0.05	0.05
70m	0-5cm	7.58	0.123	0.97	0.05	0.10	0.07	0.29	0.07	0.04
	5-10cm	7.97	0.128	1.25	0.05	0.09	0.09	0.28	0.02	0.02
	10-30cm	7.89	0.14	1.05	0.04	0.09	0.06	0.15	0.03	0.03
	30-50cm	7.9	0.15	0.70	0.02	0.06	0.05	0.15	0.02	0.04
	50-70cm	7.8	0.125	1.09	0.03	0.09	0.05	0.09	0.02	0.03
	70-100cm	7.89	0.091	0.58	0.02	0.05	0.03	0.11	0.06	0.03