

裸地砂州の土壤粒度および栄養塩・有機物量の 空間分布に関する現地観測

FIELD OBSERVATIONS ON SPATIAL DISTRIBUTION OF GRAIN SIZE, NUTRIENTS AND
ORGANIC MATTER IN A BARE SANDBAR

宮脇真二郎¹・高松伶介¹・戸田祐嗣²・辻本哲郎³

Shinjiro MIYAWAKI, Ryosuke TAKAMATSU, Yuji TODA and Tetsuro TSUJIMOTO

¹学生会員 名古屋大学 大学院工学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町1)

²正会員 博士(工) 名古屋大学講師 大学院工学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町1)

³正会員 工博 名古屋大学教授 大学院工学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町1)

Field observations were performed to determine the spatial distributions of soil characteristics on a bare sandbar. The topography of sandbar, grain size distribution of surface sediments and the contents of nutrients and organic matter in the surface sediments were measured by using various methods. The observations show that the bed materials in the downstream area of the sandbar and near the shoreline contain relatively high levels of fine sediments and organic matter compared with the upstream area and the area far from the shoreline, and WSP/P (WS: water soluble) is smaller than WSN/N in sediments. It is expected that the water retention potential of soil is high and a large amount of seeds is dispersed near the shoreline of the downstream area of the sandbar. It was also found that the proportion of TN to TP and WSN to WSP were different.

Key Words: bare sandbar, spatial distribution, grain size of sediment, nutrients, water soluble
Nutrients, organic matter

1. はじめに

河道内の植生は河川の生態系における生産者として働き、洪水時には河床地形や河床表面の土壤特性を変化させるという物理的・生物学的機能を有している。河道内における植生の繁茂や河床地形の変化は洪水時の治水安全度に影響を及ぼし、河床表面の土壤特性の変化は河道内に生息する生物の生活に影響を与える可能性があることから、河道内における植生の発達やそれに伴う河床地形の変化の機構を解明することは河川工学・河川生態学の両側面から重要な課題である。

河道内の植生については今までに様々な研究が行われてきた。例えば、李ら¹⁾は礫床河川における安定的な植生域の拡大について詳細な研究を行った。河道内の植生に関する研究の多くは植生が発達した後に地形がどのように変化するか、さらに地形の変化に伴って植生がどのように拡大していくかという点に着目している。しか

し、これらの研究における植生についての初期条件である、裸地に植生が侵入して発芽する、すなわち植生の生え始めの部分については十分な検討が行なわれていない。

植生の生え始めには種子の漂着・発芽という2つの過程が必要不可欠であると考えられるが、それらを明らかにするための第一歩として砂州内の河床材料の土壤特性について空間的にどのような違いがあるかを把握する必要がある。Johannes Steiger et al.²⁾は河床材料に含まれる栄養塩・有機物量の砂州内における空間分布について研究しているが、主に植生域を対象としており、我々が着目しようとしている裸地域についてはまだ十分に調査されていない。浅野ら³⁾は礫床河川において洪水前後の高水敷表層土壌の特性について研究しているが、砂床河川については同様な研究が行われていない。

よって、本研究では砂床河川内の比較的植生の繁茂が進行していない砂州において現地観測を行なうことにより、裸地砂州の河床材料の土壤特性を粒度分布、栄養塩・有機物量の観点から明らかにすることを目的とする。

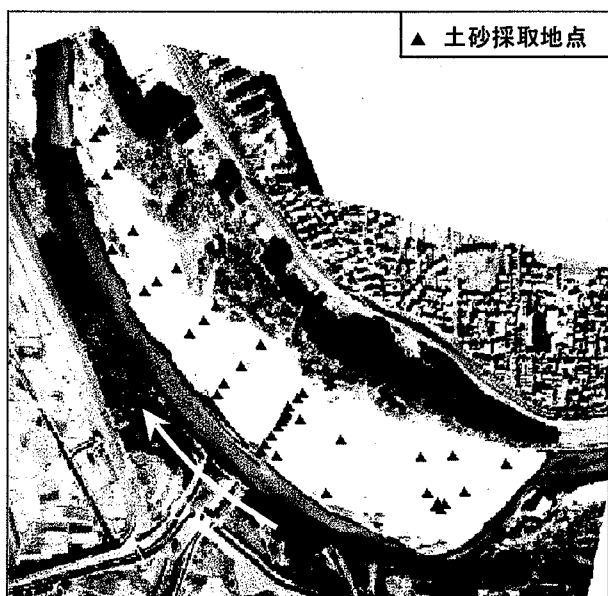


写真-1 調査対象砂州の航空写真と土砂採取地点

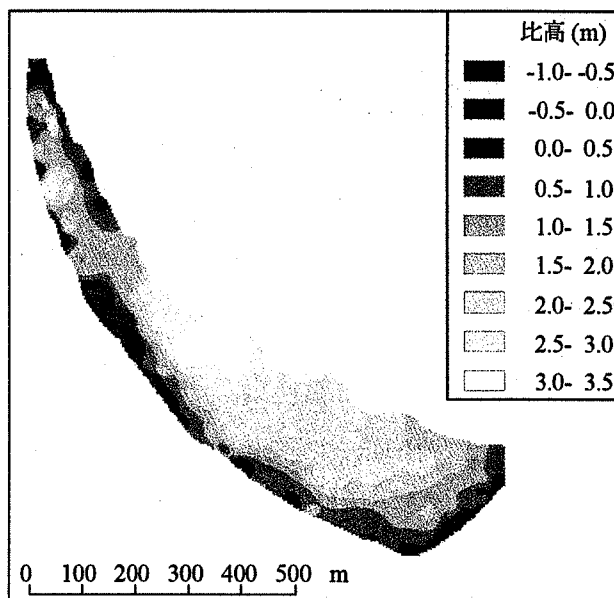


図-1 調査対象砂州の等比高線図

2. 調査対象砂州

本研究では淀川の支川である木津川を対象として調査を行った。河道内の植生について、今までは河床材料が礫で構成されている河川を対象とした研究が多かったのに対し、木津川の河床材料は主に砂であるという特徴がある。また、本川淀川との合流地点から上流約 20km の区間には交互砂州が発達しており、約 18 個の寄州が存在している。近年、全国の多くの河川において砂州上の植生域の拡大が報告されている。概ね 1980 年以前は河道内の植生が少なかった木津川においても、1980 年以降は多くの砂州で植生が発達し群落が拡大する傾向にある³⁾。

本研究では裸地砂州の土壌特性を解明することが目的であるため、木津川砂州群の中の 4 つの裸地砂州³⁾のうち、本川合流地点より約 11km 上流地点にある裸地砂州に着目し、砂州全域の地形測量および河床材料の粒度、栄養塩・有機物量を把握するための現地観測を行った。

3. 現地観測方法

現地観測は 2004 年 10 月 14 日～12 月 20 日の間に数回に分けて行った。現地観測では調査対象砂州において (1) 砂州の地形測量を行い、また砂州の平面形状に対応した土壌特性の変化を把握できるように、写真-1 に示すとおり砂州全域を覆うように多数の地点で河床材料を採取し、(2) 河床材料の粒度分析、(3) 河床材料に含まれる栄養塩・有機物量の分析に供した。植物生態学的な観点から土壌中の種子等の有機物は土壌の表層付近に多く分布することから⁵⁾、直径 10cm の円形の面積について深さ 10cm

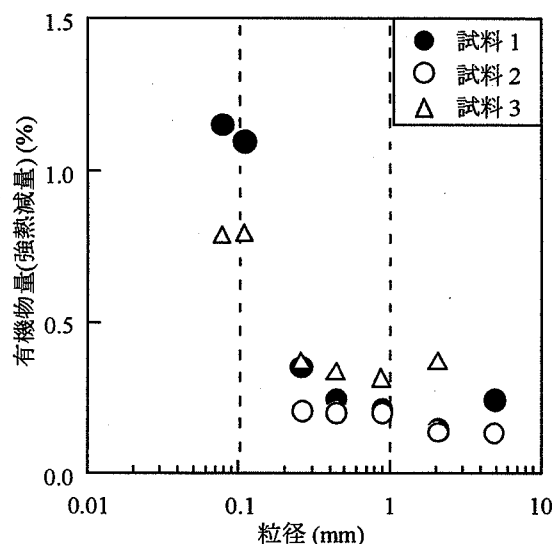


図-2 粒径と有機物量の関係

の河床材料を採取することとした。調査の具体的な手法を以下に記す。

(1) 砂州の地形測量

対象砂州全域の地形を把握するためにレーザーレベル ((株)ソキア製) と GPS ((株)ソキア製) を用いて地形測量を行った。植生の生育環境という観点から河床の水分条件などを考える際には標高ではなく伏流水位に対する河床の比高の方が重要だと考えられるため、地形測量の結果を用い、伏流水位が河川表流水位と等しいと仮定し、河川表流水位を基準とした比高を求めた。得られた比高データから、ArcGIS8.2 (ESRI 製) を用いて描いた等比高線図を図-1 に示す。

(2) 河床材料の粒度分析

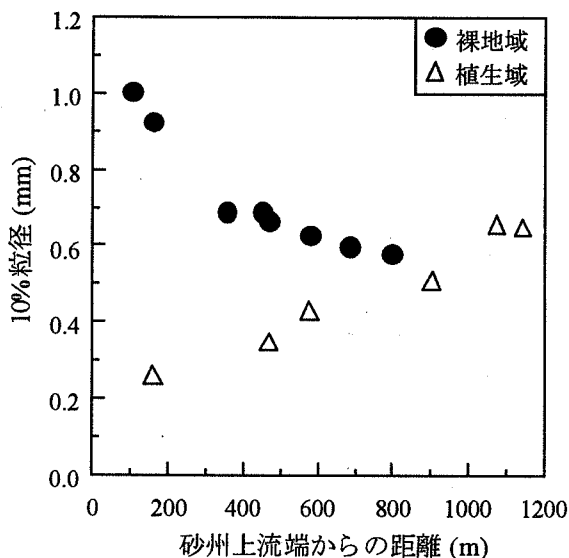


図-3 10%粒径の流下方向分布図

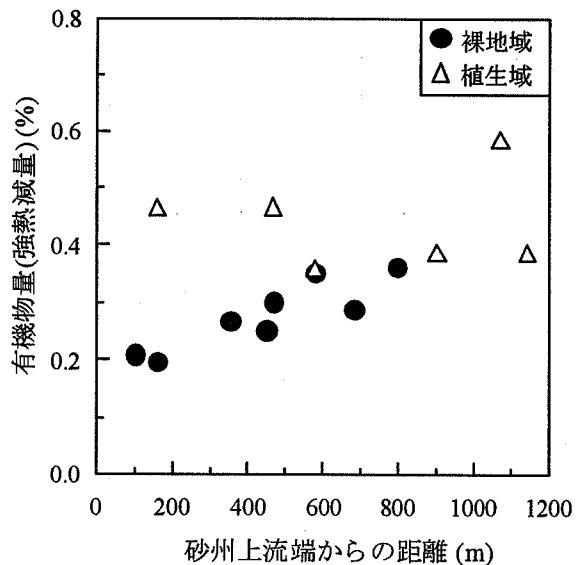


図-4 有機物量の流下方向分布図

河床材料の粒度を調べるために現地にて採取した土砂を用い、JIS A 1204に基づいて粒度試験を行った⁹⁾。ただし、本研究では粒度試験後の試料を強熱減量試験に用いたため、2mmふるい、75 μ mふるいでの水洗いを行なわなかった。また、分析に供する試料が多いことから沈降分析も行なわなかった。

ここで、土砂に含まれる有機物量や栄養塩量等の生物学的な要素について考える際に、図-2に示す予備実験の結果から細かい土砂の方が多くの有機物を含んでいることが分かり、また一般的に粒子が小さい土砂の方が単位重量あたりの表面積が大きく栄養塩の吸着量が多くなることが知られている⁷⁾。また、植物の生育環境として河床の水分条件や酸素条件を考える上で土壌の透水性は重要な指標の一つだと考えられるが、10%粒径(有効径)から透水係数の概略値を予測する式がいくつか提案されている⁸⁾。以上のことから、土壌の栄養塩・有機物量や透水性に代表される水分条件は、土壌中の細粒分の粒径と密接に関連していることが予想されるため、本研究ではそれぞれの地点での土砂の代表粒径として10%粒径を用いることとする。

(3) 河床材料に含まれる栄養塩・有機物量の分析

河床材料に含まれる間隙水を除くため現地にて採取した土砂を炉乾燥した後に窒素とリンの分析に供した。それぞれの試料について、その場の土壌に含まれる栄養塩の総量を表すa)総栄養塩に加えて、降雨などにより容易に土壌間隙水へ溶出し、植物が利用可能な形態へと変化するb)水溶性栄養塩⁹⁾の2通りの分析を行った。

窒素とリンの分析には迅速水質分析計(DR/800, セントラル科学(株)製)を用い、全窒素についてはTNT過硫酸分解法¹⁰⁾、全リンについてはペルオキシ二硫酸カリウムによる分解法¹¹⁾に準拠した。

a) 総栄養塩

土砂と超純水を混合したもの全てを試料として上記の栄養塩分析方法に従って分析を行った。分析によって得られた濃度から土砂に含まれる全ての栄養塩の絶対重量を算出し、土砂に対する重量割合を求めた。

b) 水溶性栄養塩

浮遊物質は水中に懸濁している不溶解性物質の中で、2mmふるいを通過し、孔径1 μ mのろ過材上に残留する物質であると定義される¹²⁾ため、本研究では土砂に含まれる栄養塩を超純水に溶出させ、孔径1 μ mのろ紙を通過した液体に含まれる栄養塩を水溶性栄養塩と定義した。

ろ液を試料として上記の栄養塩分析方法により分析を行い、a)と同様にして土砂に対する重量割合を求めた。

c) 有機物

図-2に示す予備実験の結果より粒径が2mm以上の土砂に含まれる有機物は少ないと推測されたため、有機物量については、現地にて採取した試料を用い、粒径2mm以上の土砂を用いる試験であるJIS A 1226に基づいて強熱減量試験を行った⁹⁾。ただし、肉眼で見える植物体は可能な限り取り除いた。

4. 現地観測結果

(1) 砂州の地形

図-1より、対象とした砂州は上流部(図中右下)で比高の勾配が緩く、中央部から下流部にかけて比高勾配が急であり、下流端付近(図中左上)では比高の勾配が極めて緩いことが読み取れる。また、水際に植生の群落が発達しているため、特に砂州下流端付近では局所的に比高の高い場所が存在している。等比高線図から判断することは難しいが、現地での踏査により砂州の中流部から下流部の水際における局所的な勾配は上流部のそれに比べて急である。

(2) 河床材料の土壌特性

各試料採取地点を裸地域と植生域に分類し、それぞれについて河床材料の土壌特性の a) 流下方向分布, b) 横断方向分布, c) 土壌の物理化学的組成を述べる。ただし、砂州の下流端は局所的な河床表面の状態が裸地であっても全体的に見ると水際の大きな植生群落と堤防沿いの竹林に囲まれており、その影響で通常の裸地域とは土壌特性が異なっていると考えられるため、裸地域の分類からは除外した。更に、たまりを形成しており周辺河床に比べて明らかにシルト分の多い土壌が堆積している地点も裸地域の分類からは除外した。また、植生域の中には堤防際の植生域とつながっている植生域、そうでない植生域があるが、前者の形成機構には直接人為的なインパクトが含まれていると考えられ、実際に土壌粒度や栄養塩・有機物の観点からも後者とは性質が大きく異なるため植生域の分類から除外した。

a) 流下方向分布

本研究では対象砂州の上流端から下流端まで河道を横切るようにバランスよく 13 本の測線を設け、各測線上にそれぞれ数点ずつ土砂採取地点を設置した。ここでは、土壌の 10% 粒径、有機物量を測線毎に算術平均して求めた平均値を縦軸に、砂州上流端から各測線の中点までの距離を横軸にとったグラフから土壌特性の流下方向の変化について調べることにする。

図-3 に裸地域、植生域それぞれの河床材料の 10% 粒径の流下方向分布図を示す。図-3 より、裸地域に比べて植生域の方が細かい土砂を多く含んでいることが分かる。また、裸地域については流下に伴って 10% 粒径が減少しているが、現地観測における踏査や航空写真(2004 年)からも砂州の上流端付近の河床表層に粗い土砂が堆積し、中央部付近から下流端の間の河床表層には細かい土砂が堆積していることを確認することができる。一方、植生域については上流側にある植生域ほど河床材料に細かい土砂を多く含んでおり、下流端付近では周辺の裸地域と同程度の粒度である。図-4 に裸地域、植生域それぞれの土砂の有機物量(強熱減量)(%)の流下方向分布図を示す。図-4 より、裸地域よりも植生域の方が土砂に含まれる有機物が多いことが分かる。裸地域では流下に伴って有機物量が増加し、植生域については上流側に比べて下流側の方が僅かに少ないが、その変化量は裸地域に比べてとても小さい。そして、下流端付近の裸地域にはその周辺の植生域と同程度の有機物が含まれている。

以上のことより、裸地域においては細かい土砂を多く含んでいる河床材料ほど有機物量を多く含んでいるが、植生域では細かい土砂の含有量に関係なく概ね裸地域における最大有機物量以上の有機物を含有していること、砂州下流部付近では植生域と裸地域で細粒分・有機物の含有量に大きな差が見られないということが分かる。

栄養塩については流下に伴う系統的な増減が見られな

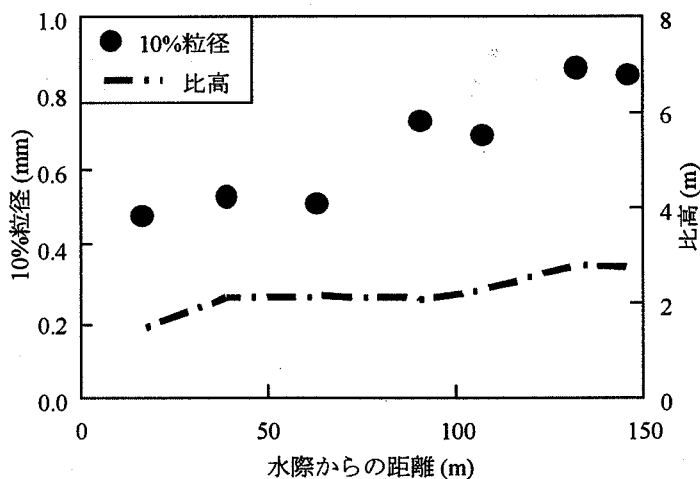


図-5 10%粒径の横断方向分布図

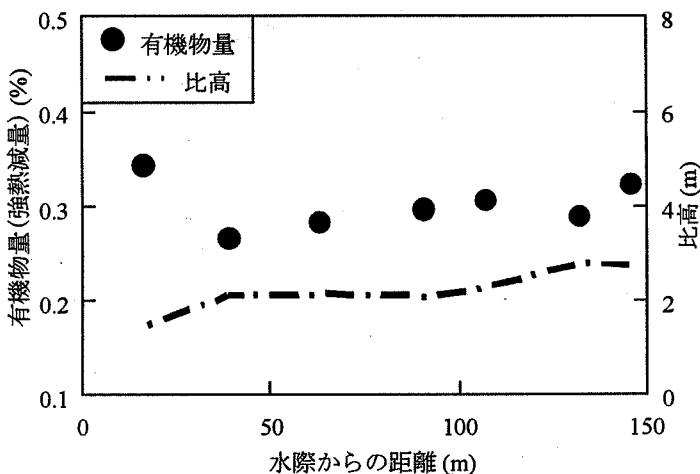


図-6 有機物量の横断方向分布図

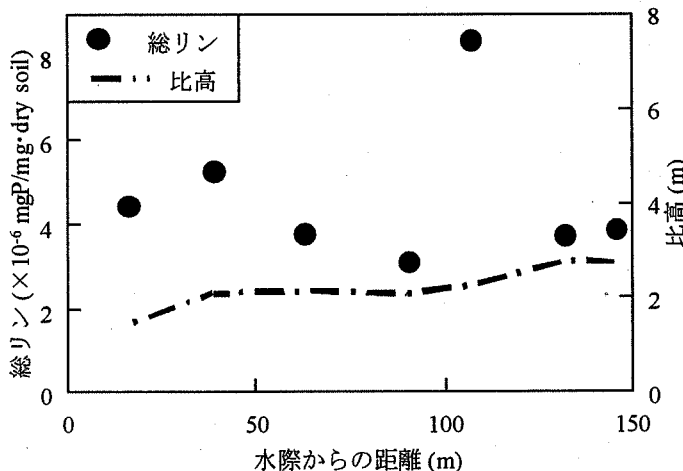


図-7 総リンの横断方向分布

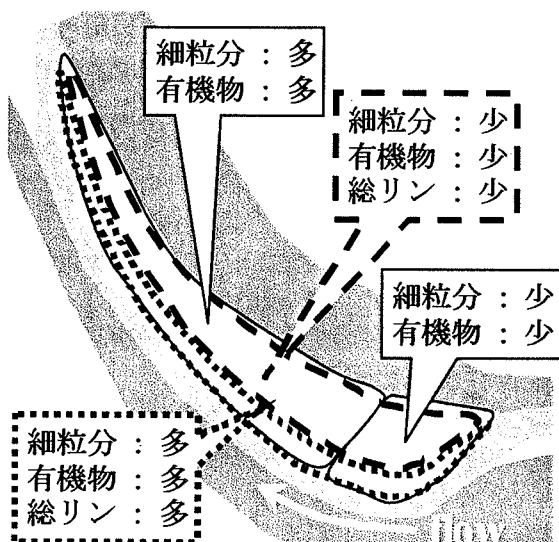


図-8 土壌特性の空間分布の概略図

かった。

b) 横断方向分布

砂州上流端から約 500m 下流にあり、砂州全体から見ると上流端と下流端のほぼ中間に位置する測線(写真-1の中央付近で測点が密になっている測線)に着目し、裸地域での 10%粒径、有機物量、総リンを縦軸に、水際からの距離を横軸にとることによって土壌特性の横断方向分布について検討する。ここで、図には各地点の比高も併せて表記している。

図-5 に裸地域における 10%粒径の横断方向分布図を示す。図-5 より、水際から離れ、比高が高くなるに従って河床表層中に含まれる細かい土砂の量が少なくなることが分かる。図-6 に裸地域における有機物量の横断方向分布図を示す。図-6 より、水際に最も近い場所では有機物量が最も多く、それ以外の場所では水際からの距離に関係なくほぼ一定量の有機物が存在していることが分かる。ここで、対象測線上での有機物量の変動幅は砂州全域でのそれに比べて小さい。図-7 に裸地域における総リンの横断方向分布図を示す。図-7 より、一点のみ例外があるが、全体的に見ると水際に近い部分で総リンの量が多いことが分かる。ただし、総窒素・水溶性窒素・水溶性リンについては横断方向に系統的な大小が見られなかった。

これらをまとめると、水際に近い地点では内陸側に比べて河床材料に含まれる細粒分、有機物、総リンが多いことが分かる。

上記 a), b) より裸地域における土壌粒度、栄養塩・有機物量の空間分布の概略図を描くと図-8 のようになる。図-8 より、裸地砂州では下流側の水際において水分保持能力が比較的高い。有機物中に一定の割合で植物の種子が含まれていると仮定すると、河床表層に含まれる埋土種子量が比較的多いことが推察される。

c) 土壌の物理化学的組成

図-9 に裸地域、植生域それぞれにおける 10%粒径と有

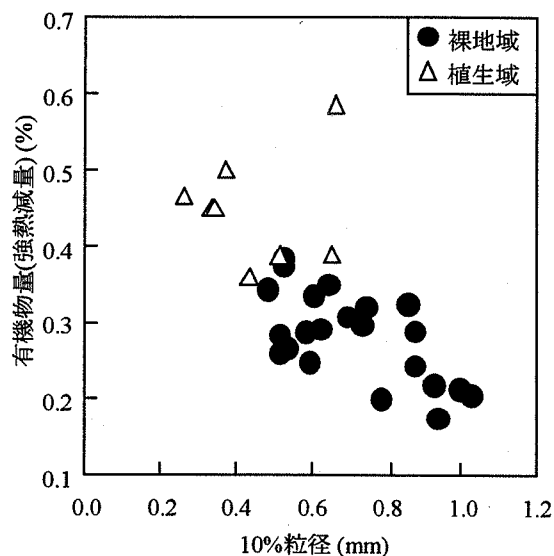


図-9 10%粒径と有機物量の関係

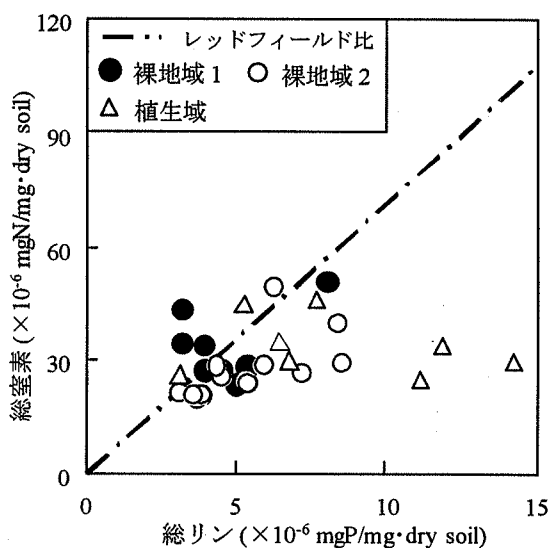


図-10 総窒素と総リンの関係

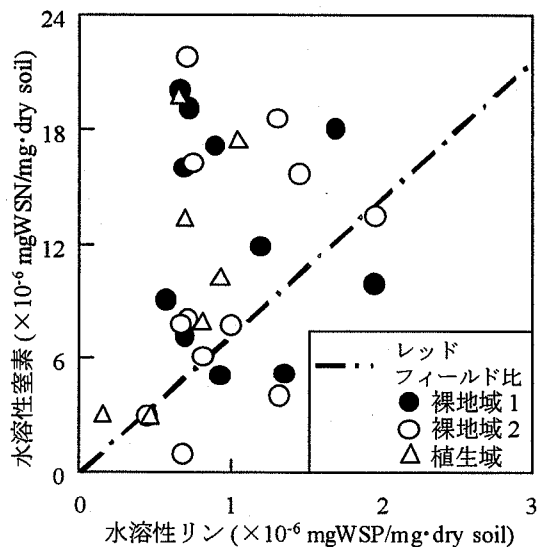


図-11 水溶性窒素と水溶性リンの関係

機物量の関係を示す。図-9より、裸地域では10%粒径が小さいほど、すなわち細かい土砂を多く含んでいるほど多くの有機物を含んでおり、植生域では含有している細かい土砂の量に関係なく裸地域以上に有機物を含んでいることが分かる。これは、4. (2). a)で示した10%粒径と有機物の流下方向の変化の結果を支持するものである。

図-10に裸地域、植生域それぞれにおける総窒素と総リンの関係を示す。ここで、土砂の粒度の違いを同時に示すために、裸地域における河床材料の10%粒径の平均値が0.7mmであることから、裸地域については10%粒径が0.7mm以上の地点を裸地域1、同じく0.7mm以下の地点を裸地域2と分類した。図-10より、裸地域に比べて植生域の方が総窒素/総リンが小さい領域まで分布していることが分かる。また、図中の黒色と白色のプロットが系統的に分かれていないことから、総窒素/総リンは粒径の大小に依らないと考えられる。図-11に裸地域、植生域それぞれの水溶性窒素と水溶性リンの関係を示す。

図-11より、総窒素/総リンとは逆に、植生域に比べて裸地域の方が水溶性窒素/水溶性リンが小さい領域まで分布していることが分かる。そして、総窒素/総リンと同様に水溶性窒素/水溶性リンは粒度に依存しない。図-9、図-10、図-11上では裸地域のプロットと植生域のプロットが必ずしも完全に分離されておらず、粒度、有機物、栄養塩バランスという観点から、裸地域と植生域の中間的な場が存在していると推察される。

図-10、図-11に示した一点鎖線はレッドフィールド比を表している。レッドフィールド比とは、植物プランクトンなどに代表される典型的な有機態物質の元素構成比を示す数字であり¹²⁾、炭素C：窒素N：リンPの比率が原子数の割合で106：16：1と報告されているため、質量比で表すと概ね41：7：1となる。窒素、もしくはリンが植物の成長の制約因子になる場合、N/Pとレッドフィールド比を比較することによって窒素とリンのどちらが制約条件となっている可能性が高いかを推察することが出来る。図-10、図-11より、土砂に含まれる全ての栄養塩についてはレッドフィールド比を上回る地点が多く、水溶性の栄養塩についてはレッドフィールド比を下回る地点が多いことが分かる。このことはその場の土壌に含まれる栄養塩の総量から判断すると植物の生長に対して窒素が不足傾向にあるが、土壌間隙水に溶出し植物が利用可能な栄養塩から判断するとリンが制約になっている可能性が高いことを示唆している。また、それと同時に土砂に含まれるリンは窒素に比べて水溶性の成分が占める割合が低いことを示している。

5. 結論

本研究では裸地砂州の土壌粒度、栄養塩・有機物量の空間分布を明らかにするために、現地観測を行った。現

地観測から得られた主な知見は以下のとおりである。

本研究で対象とした木津川11km砂州での土壌特性の空間分布について、次の2点が明らかになった。

- 1)裸地域では上流側に比べて下流側の方が、陸域側に比べて水際の方がそれぞれ河床材料に含まれる細粒分・有機物量が多い。
 - 2)裸地域については陸域側に比べて水際の方が河床材料に含まれる全てのリンの量が多い。
- また、河床材料の物理化学的組成の特徴として下記の2点が明らかになった。
- 3)細粒分を多く含む河床材料には有機物も多く含まれる。
 - 4)河床材料に含まれるリンは窒素に比べて水溶性の成分の占める割合が高い。

謝辞：本研究は木津川における河川生態学術研究会の総合的な調査研究の一環として実施されたものである。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 李参熙, 藤田光一, 山本晃一：礫床河道における安定植生域拡大のシナリオ, 水工学論文集, 第43巻, pp.977-982, 1999.
- 2) Johannes Steiger, Angela M. Gumell: Spatial hydrogeomorphological influences on sediment and nutrient deposition in riparian zones: observations from the Garonne River, France, *Geomorphology*, Vol.49, pp.1-23, 2002.
- 3) 浅野健, 戸田祐嗣, 池田駿介：礫床河川における洪水前後の高水敷き表層土壌の変化と有機物・栄養塩の輸送に関する現地観測, 土木学会年次学術講演会講演概要集第7部, 第55巻, pp.164-165, 2000.
- 4) 寺本敦子, 宮脇真二郎, 辻本哲郎：木津川下流部における砂州地形の特徴と植生域の変遷シナリオ, 河川技術論文集, 第10巻, pp.375-380, 2004.
- 5) 生態学実習懇談会編：生態学実習, 朝倉書店, pp.316, 1973.
- 6) 地盤工学会編：土質試験—基本と手引き—, 2001.
- 7) 小澤貴幸, 長林久夫：山間地河川における河岸堆積土砂及び栄養塩濃度の特性, 土木学会年次学術講演会講演概要集第2部, 第58巻, pp.217-218, 2003.
- 8) 土木学会編：水理公式集, pp.365-366, 1973.
- 9) 三岡道治, 原田守博：河畔砂州における伏流水の水質特性とその支配要因, 土木学会年次学術講演会講演概要集第2部, 第58巻, pp.385-386, 2003.
- 10) セントラル科学株式会社編：迅速水質分析計DR/800シリーズ取扱説明書, 第三版.
- 11) 日本下水道協会編：下水試験方法, 上巻, 1997.
- 12) Redfield, A.C., B.H.Ketchum and F.A.Richards: The influence of organisms on the composition of seawater, *In The Sea*, John Wiley, Vol.2, pp.26-77, 1963.

(2005. 4. 7 受付)