

# 博士論文

## 日本列島における第四紀後期の気候・海水準変動及び地殻 変動に伴う河床縦断面形の変化と河川下流域の地圏環境

(Late Quaternary changes in the longitudinal profiles of rivers associated with climate and sea-level changes and tectonism, and their effects on coastal environment in Japan)

本多 啓太

## 目次

### 1 はじめに

- 1.1 研究の背景 . . . . . 1
- 1.2 研究の目的と構成 . . . . . 4

### 2 第四紀後期における日本島河川の河床縦断面形の変化

- 2.1 はじめに . . . . . 6
- 2.2 対象河川の選定 . . . . . 7
- 2.3 計測方法 . . . . . 8
  - 2.3.1 平衡河川と適合関数形について . . . . . 8
  - 2.3.2 河床縦断面形の作成と適合関数型の決定 . . . . . 12
  - 2.3.3 現河口付近における最終氷期最海面低下期縦断面形 (LGRP) と現河床縦断面形 (PRP) の平均勾配の測定 . . . . . 15
  - 2.3.4 LGRP と PRP の曲率の測定 . . . . . 15
- 2.4 河床縦断面形と勾配の定量化 . . . . . 18
  - 2.4.1 LGRP と PRP の曲率の相違 . . . . . 18
  - 2.4.2 縦断面形の適合関数型の変化 . . . . . 18
  - 2.4.3 現河口付近における PRP と LGRP の勾配 . . . . . 21
- 2.5 適合関数型と曲率からみた LGRP の特徴と河床縦断面形変化の要因 . . . . . 21
- 2.6 LGRP と PRP の地形学的特徴からみた最終氷期低海面期以降の河川プロセスの変化 . . . . . 26
- 2.7 LGRP の平均下流勾配からみた沖積層基底礫層 (BG) 分布の要因 . . . . . 27
- 2.8 まとめと今後の課題 . . . . . 34

### 3 日本列島における主要河谷ぞいの沖積層の層厚分布特性

- 3.1 はじめに . . . . . 36
- 3.2 対象河川の選定 . . . . . 36
- 3.3 沖積層の層厚分布の推定方法 . . . . . 36
- 3.4 沖積層全体の河川縦断方向の層厚変化の特徴 . . . . . 40
- 3.5 沖積層の層厚変化率の特徴 . . . . . 43
- 3.6 Coastal prism の面積と流域面積の関係 . . . . . 46

3.7	まとめと今後の課題	49
4	日本列島における河床縦断面形の発達からみた氷河性海面変動に伴う後氷期（縄文）海進と海退	
4.1	はじめに	51
4.2	対象河川の選定	53
4.3	計測方法	58
4.3.1	海進及び海退距離	58
4.3.2	海進及び海退の前地形	60
4.3.3	デルタの前進開始時期	65
4.3.4	内湾泥層の分布形態	67
4.4	海進及び海退	67
4.4.1	海進及び海退の距離	67
4.4.2	海進及び海退に関わる因子	69
4.4.2.1	海進と前地形の関係	69
4.4.2.2	海退と前地形の関係	71
4.5	完新世の海面変動とデルタのプログラデーション	71
4.6	内湾泥層の河川縦断方向の層厚変化の特徴	73
4.7	まとめと今後の課題	75
5	研究成果のまとめと今後の課題	
5.1	第四紀後期における河床縦断面形の発達からみた沖積層の特徴	80
5.2	第四紀後期における河床縦断面形の変化とその適合関数型	82
5.3	今後の課題	84
	謝辞	86
	引用文献	87

## 図表目次

図 1-1	1923 年関東大地震における起震断層面からの距離と震度との関係(望月ほか,1978 を簡略化) . . . . .	2
図 2-1	対象河川位置図 . . . . .	9
図 2-2	最終氷期河床縦断形 (LGRP) と現河床縦断面形 (PRP) に関するデータの計測方 法 . . . . .	14
図 2-3	河川下流域における最終氷期の河床縦断勾配と現在の河床勾配の計測法 . . .	16
図 2-4	$rs$ 値の定義と求め方 (Ohmori, 1991 より引用) . . . . .	17
図 2-5	最終氷期河床縦断形 (LGRP) と現河床縦断面形 (PRP) の $rs$ 値の関係 . . .	19
図 2-6	最終氷期河床縦断形 (LGRP) と現河床縦断面形 (PRP) の適合関数型とその 布 . . . . .	20
図 2-7	最終氷期 (LGRP) と現在 (PRP) の河床縦断面形と適合関数型の関係 . . . .	22
図 2-8	現河口付近における最終氷期河床縦断形 (LGRP) と現河床縦断面形 (PRP) の平 均勾配 . . . . .	23
図 2-9	現河口から 10 km 上流までの河床縦断勾配の頻度分布 . . . . .	24
図 2-10	氷期・間氷期における河床縦断面形の変化と礫の移動 . . . . .	28
図 2-11a	越後平野における活断層分布 (上左) 及び横断面図 (上右) と断層活動に伴う 沖積層基底の変形 (下) . . . . .	29
図 2-11b	濃尾平野における活断層分布 (上左) 及び横断面図 (上右) と断層活動に伴う 沖積層基底の変形 (下) . . . . .	30
図 2-11 c	徳島平野における活断層分布 (上左) 及び横断面図 (上右) と断層活動に伴う 沖積層基底の変形 (下) . . . . .	31
図 3-1	対象河川位置図 . . . . .	38
図 3-2	変動帯における氷期・間氷期の海水準変動と河床縦断面変化の関係, および沖積層 の分布を示す模式図 . . . . .	41
図 3-3	50 河川における沖積層層厚の河川縦断方向への変化 . . . . .	42
図 3-4	沖積層層厚の河川縦断方向への変化率 . . . . .	44
図 3-5	大分平野における活断層分布 (上) と断層活動に伴う沖積層基底の変形 (下) . . . . .	45
図 3-6	日本と大陸における coastal prism の形状の違い (貝塚, 1992 より一部抜粋) .	47

図 3-7	流域面積と Coastal prism の面積	48
図 4-1abcde	対象河川位置図	53
図 4-2	海進・海退の距離と各前地形の計測方法	59
図 4-3	河床縦断面形と内湾泥層堆積範囲	61
図 4-4	臨海地域における沖積層の模式断面図 (池田,1964 に加筆)	64
図 4-5	楔状の内湾堆積物の下底付近の平均勾配 (S2) と現河口より上流側の LGRP の平均勾配 (S3) の関係	66
図 4-6	海進及び海退の距離	68
図 4-7	海進距離と S1 の逆数の関係	70
図 4-8	海退距離と S2 及び S3 の逆数の関係	72
図 4-9	デルタの前進開始時期	74
図 4-10	内湾泥層の層厚変化	76
図 4-11	内湾泥層の層厚と沖積層の層厚の変化	77
図 4-12	内湾泥層と沖積層の層厚変化に関する模式的関係	78
表 2-1	対象河川の流域条件と適合関数型	10
表 3-1	対象河川の流域面積と Coastal Prism の面積, 及び LGRP の適合関数型	39
表 4-1	流域対象河川の地形的特徴と海進海退距離	56



## 1. 序論

### 1.1 研究の背景

日本列島は、山地が多くを占め、平野部分は最大でも3割程度である。平野の大部分は河川により運搬された土砂が、堆積することで形成された堆積平野である。平野全体に占める沖積平野の面積割合は高く、人口の大部分が沖積平野とその周辺に集中している。沖積平野とその周辺では、古代文明が沖積平野に支えられながら成長したように (Day *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2009; 須貝, 2011 など), 生活と産業の場として都市が成長しており, 今後も沖積平野を舞台に人間活動が行われいくことは想像に難くない。他方, 沖積平野は, 洪水や台風時の高潮の影響を受けやすく, 軟弱地盤から成るため地震動による被害が大きくなる (望月ほか, 1978 など) (図 1-1) など便利さとは裏腹に自然災害のリスクが大きい。また, 都市化に伴う地盤沈下や上流部におけるダムの建設は, 今後の温暖化に伴う海面上昇や海岸侵食など沖積平野の脆弱性をさらに増している。そのため, 我々がサステイナブルな発展を続けていく上で, 沖積平野とその構成層である沖積層に関する様々な情報は, 非常に重要なものと見なされている (Ericson *et al.*, 2006; Syvitski *et al.*, 2009 など)。すなわち, 沖積平野がどのような条件で形成されやすいのかといったことを踏まえて, その構造や発達過程を科学的に解明し, 理解していくことが必要不可欠とされる。

沖積層に関する研究は, 地質学, 地理学, 工学, 考古学など様々な分野から行われてきた。初期の段階では, 1923年の関東大震災後に都市復興に向けて行われた地盤調査研究 (復興局建築部, 1929) が, 沖積層研究に多くの情報を与えた。東木 (1926) は, それらの資料と貝塚分布から, 関東における縄文海進が沖積層の基底を成す埋没谷を通して内陸に深く入り込んだことを示した。また, 戦後復興と高度成長に伴う市街地拡大の中でボーリングデータが増加したことに加え, 1960年代以降, 放射性炭素年代測定が確立されることで, 沖積層研究が大きく発展することになる (杉村, 1950; 井関, 1956; Kaizuka *et al.* 1977 など)。その中で, 井関 (1962, 1983) は, 日本

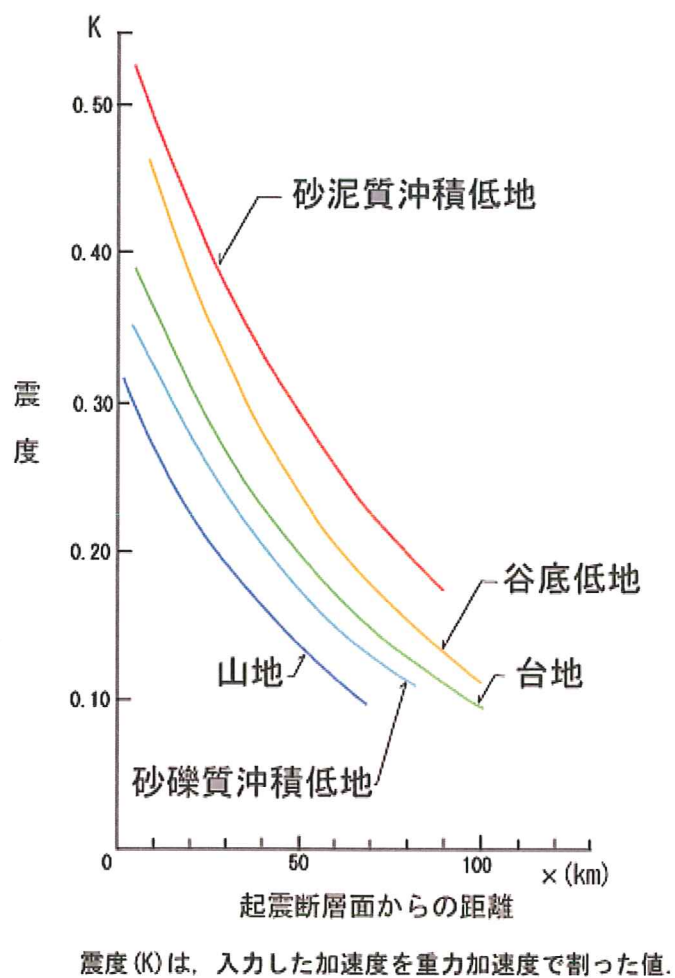


図 1-1 1923 年関東大地震における起震断層面からの距離と震度との関係(望月ほか,1978 を簡略化)

列島各地の沖積層の構造が共通して基底礫層，下部砂層，中部泥層，上部砂層，最上部泥層の5層に分けられることを明らかにした。また，池田（1964）は沖積層の堆積と海面変動との関係を述べるとともに，河川により供給される土砂の質が，地質縦断面における層相の違いとして現れることを模式的示している。海津（1981）は，日本列島の複数の沖積平野を対象に，最終氷期最海面低下期以降の沖積平野の発達過程を4段階に分け，発達過程の地域性を明らかにするとともに，流域の地形条件が発達過程に与える影響について，定量的な議論をしている。近年，シーケンス層序学的観点が沖積層に導入されるようになると，沖積層内に等時間線を復元することで海面変動と堆積システムの間関係をダイナミックに捉えようとする試みが長江（Hori *et al.*, 2002），ホン河（Tanabe *et al.*, 2006），メコン川（Ta *et al.*, 2006），ガンジス川（Goodbred and Kuehl, 2000），ミシシッピ川，ライン川（Gouw and Autin, 2008）など世界の大河川や日本各地で行われるようになった（Saito, 1995；田村ほか，2006；増田，2007；大上ほか，2009；Sato and Masuda, 2010；田辺ほか，2010）。その中で濃尾平野は，ここ数年で基本的な層序から珪藻，EC，遺跡分布など多角的な分析が行われ（山口ほか，2003；小野ほか，2004；大上ほか，2009；Saegusa *et al.* 2011 Niwa *et al.* 2011 など），日本列島における沖積層研究の模式地の一つとなっている。

一方，沖積層の形状は，氷期-間氷期サイクルによる河床縦断面形の変化（Dury, 1959；貝塚，1969）に対応して形成された，氷期の河床縦断面形と現河床縦断面形の二つの縦断面形に挟まれた部分で表すことができる。貝塚（1992）は，このようにして示された沖積層の形状について，同じ湿潤温帯に位置する日本とヨーロッパを比較し，日本のような島弧内を流れる河川の場合，河口付近の層厚が厚く奥行きは短くなり，ヨーロッパのような大陸内を流れる河川の場合，河口付近の層厚は薄いく奥行きが長くなることを模式的に示している。

しかし，これまでの沖積平野及び沖積層に関する研究には以下のような問題点が挙げられる。すなわち，研究対象が下流域の堆積場を中心に議論されており，土砂の供給源である上流側の山岳地域から下流側の臨海部までを同一時間スケールで統一的に捉えた研究がほとんど見られないという点（海津，1994. p 242）である。これに関



しては、須貝（2012）は、土砂の供給源から堆積場までを含む大きな空間スケールでの物質移動、すなわちセジメントカスケードシステム（Burt and Allison, 2010）の中に沖積平野を位置付けて、その成り立ちを研究していく必要を指摘している。また、沖積層の形状に関しては、沖積層の層厚や中身を構成する軟弱な縄文海進時の内湾泥層の分布の特徴について、定量的な検討がほとんど行われていないという点である。

## 1.2 研究の目的と構成

以上のような背景のもと、本論文は、日本列島における沖積平野と沖積層について、先に述べた土砂の供給源から堆積場までを含む大きな空間スケールでの物質移動を意識し、その発達を明らかにすることを目的とする。具体的には、氷期の河川プロセス、沖積層の分布形状、海進海退による海岸線の移動距離など、沖積平野の発達を特徴づける様々な要素について、河川間で比較研究を行い、日本列島における沖積平野の発達を定量的に明らかにすることを目的とする。そのために、まず氷期の河床縦断面形を復元する。そして、その形状の定量化を行い、氷期の河川プロセスを推定するとともに、沖積層基底礫層の分布理由を明らかにする。また、氷期と現在の河床縦断面形によって示された沖積層の形状を定量的に分析し、沖積層の層厚変化の特徴を明らかにする。さらに、海進海退の距離、海進から海退への転換期と海面変動の関係、軟弱な内湾泥層の層厚分布の特徴について明らかにする。そして、最後に、沖積層の発達について本論文で明らかとなったことを総括するとともに、氷期と現在の河床縦断面形の適合関数形の変化とその地域性について議論する。

本研究の主眼とする河床縦断面形変化に着目した日本の沖積平野発達史の一般化は、グローバルにみた日本列島の諸河川が有する自然環境特性の理解に資すると考える。同時に、多くの河川を対象とした帰納的方法による一般化は、平均像からの偏差を認識することを通じて、国内各地に分布する沖積平野の地域特性をより明確化し、ひいては、今後の地域研究や地域防災の発展にも貢献すると考える。

以下に、論文の構成を示す。本論文は、5つの章から構成される。

1章では、沖積平野研究が、日本における人々の生活及び国土利用を考える上でいかに重要であるかという点について指摘する。また、これまでの沖積平野及び沖積層研究の研究史を整理するとともに、問題点を指摘し、本論文の目的を述べる。

2章では、まず現河口直下までの氷期の河床縦断面形を復元する。次に、復元した河床縦断面形の適合関数型や勾配について数理的分析を行い、日本列島における氷期の河床縦断面形の普遍的特徴を明らかにする。また、氷期の河床縦断面形と現河床の縦断面形の比較検討を通して、現河口直下付近までの氷期の河川プロセスを推定し、これまで不明な点が多かった沖積層基底礫層について、その存在要因を明らかにする。なお、2章の内容は2.3.1「平衡河川と適合関数型」を除くと、本多・須貝（2011）に掲載されたものを引用したものである。

3章では、2章で復元した氷期の河床縦断面形と現河床縦断面形を用い、二つの縦断面形の比高から沖積層の層厚を求め、その層厚変化の特徴を明らかにする。また、沖積層の縦断方向の断面積を求め、流域面積との関係を分析し、沖積平野の発達条件について明らかにする。なお、3章の3.1「はじめに」は、本多・須貝（2010）を引用したものである。

4章では、これまで古地理図や地層縦断面図の中で、現河口より内陸部しか示されてこなかった縄文海進について、海進距離とその後の海退距離を求め、地域別に整理する。そして、その距離に違いを与える要因について、海進海退の直前の地形との関係を検討する。また、沖積層を構成する地層のうち縄文海進時に堆積した最も軟弱な内湾泥層の層厚変化の特徴を明らかにする。

5章では、まず、2章から4章までに得られた沖積平野の発達に関する成果を総括する。そして、最後に氷期から現在にかけての河床縦断面形の発達と適合関数型の変化について、若干の考察を加える。また、沖積層研究や河床縦断面形研究に関する今後の課題を整理する。