

平成 21 年 5 月 21 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19710005

研究課題名 (和文) 沿岸海底下における地下水環境評価のための水文化学的研究

研究課題名 (英文) Hydrological study on groundwater environment in a coastal area

研究代表者

林 武司 (HAYASHI TAKESHI)

秋田大学・教育文化学部・准教授

研究者番号：60431805

研究成果の概要：

東京港内に造成された埋立地内において、最終氷期以降に陸地化していない海面下 50m までの地層から地質・地下水試料を採取し、各地層の堆積環境ならびに地下水の地球化学性状を把握した。この結果、海面下 50m に賦存する地下水は、最終氷期頃に涵養された降水を起源とすることが明らかとなった。本研究の結果は、東京湾下に降水起源の地下水が現在も広く賦存していることを強く示唆しており、海水準変動に伴う沿岸域の地下水挙動の理解に寄与する。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,700,000	0	2,700,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	210,000	3,610,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：沿岸域、海水準変動、地下水流動、環境同位体、拡散

## 1. 研究開始当初の背景

沿岸域は、水や溶存物質が陸域から海域へ流出する最終的な領域である。沿岸域の陸側・海側に賦存する地下水の起源や滞留時間、挙動などを把握することは、海水準変動に伴う陸域・海域間の水・溶存物質の輸送機構の変化の理解や、放射性廃棄物処分や CO<sub>2</sub> 地下貯留における地下環境の安定性の評価において不可欠である。しかしこれまで、沿岸域の海側の地下水環境評価を、現地調査に基づいて行った研究事例は少ない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、沿岸域の海側において海底面下の地層中から地質・地下水試料を採取し、地層の堆積環境ならびに地下水の地球化学性状や起源、滞留時間をあわせて明らかにすることで、海水準変動に伴う沿岸域の地下水環境の変化を理解するための基盤情報を得ることにある。

## 3. 研究の方法

本研究では、関東平野の南部に広がる東京湾の最奥部に位置する東京港内に造成され

た埋立地においてオールコアボーリングを実施し、海面下約 50m までの地層（完新世～中期更新世）から地質・地下水試料を採取した。採取した地質試料を用いて堆積環境を把握するとともに、地下水試料の地球化学性状を把握した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 地質試料に基づく堆積環境の把握と地下水からみた環境の変化の検討

オールコアボーリングによって得られた地質コア試料は、上位から埋土層、有楽町層（沖積層）、東京層（後期更新世）、江戸川層（中期～後期更新世）に区分された（図 1）。地質コア試料の観察結果から各層の堆積環境を検討し、これらの地層が主に海成層であることを確認した。この結果は、既存研究と整合する。

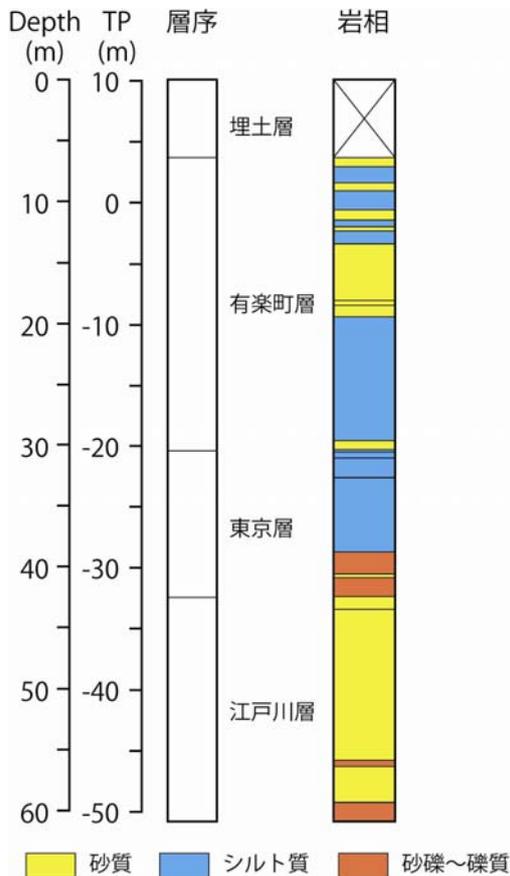


図 1 地質柱状図

地質コアの物性の鉛直分布（図 2）をみると、砂質部では、地層の堆積年代にかかわらず含水率や密度に大きな差は認められなかった。これに対してシルト質部では、完新世に堆積した有楽町層内に対して、後期更新世に堆積した東京層内の含水率はより小さく、密度はより高い傾向にあって、より砂質部に近い値を示した。また東京層内では、シルト

質部の上位から下位に向かって含水率が低下し、密度が増加する傾向が見られた。これらの傾向は、東京層内では、有楽町層の堆積によって圧密が進行しているためであると推察された。

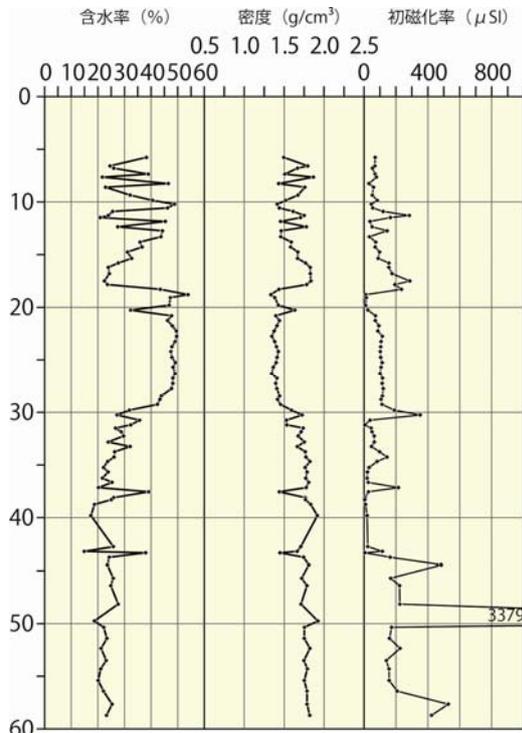


図 2 地質コアの物性の鉛直分布

各層の堆積環境ならびに当該地域における海水準変動に関する既存研究から、各地層内の地下水環境の変化は以下のように整理された。江戸川層の砂質部は海成層であるが、東京層の基底にある砂礫層（東京礫層）は陸成層であることから、東京礫層の堆積時には、江戸川層内は淡水化の影響を受けたと考えられる。ただし、東京層の東京礫層より上部（シルト質部）は海成層であり、この区間の堆積時には、東京礫層および江戸川層内は海水の影響を受けている。東京層の堆積後から最終氷期にかけて当該地域が陸地化し、江戸川層・東京層内の地下水は降水浸透による淡水化作用を受けた。また当該地域の周辺には、古東京川や古神田川などによって形成された谷地形が発達し、この過程で東京層および江戸川層の中～上部が浸食・削剥されたため、河川による直接的な涵養もあったと考えられる。その一方で、谷地形の発達によって東京層および江戸川層中～上部は周辺陸域との連続性が断たれたことから、周辺陸域からの地下水涵養はなくなったと考えられる。その後、最終氷期の終わりとともに当該地域は海面下に没し、沖積層が堆積した。1960年代～1970年代初頭に、当該地域に埋立地が造成されたが、後述するように、埋土層内は降水

浸透による淡水化作用の影響を受けているものの、その影響は有楽町層より下位の地層には及んでいない。また先に述べたように、東京層・江戸川層中～上部が浸食されて分断されたことから、周辺陸地からの地下水涵養も考えにくい。したがって、東京層・江戸川層内の地下水が淡水～汽水性である場合には、最終氷期以前に涵養された地下水であると考えられることができる。

## (2) 地下水の地球化学性状

図3に、地質コアの中心部から試料を少量採取し、超純水を数滴加えて電気伝導率を測定した結果と、コア内にニードル型ガラス電極を挿入して測定したpHの測定結果を示す。泥水の影響評価は行えていないが、コアの観察結果から、シルト質部に関しては泥水の影響はないか十分に小さいと判断された。

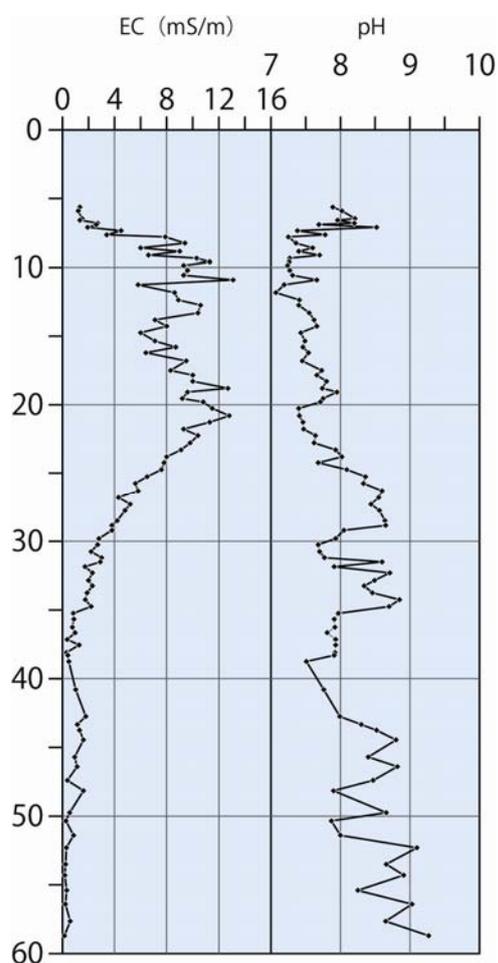


図3 コア間隙水のEC, pH鉛直分布

シルト質部に着目すると、電気伝導率に関しては、埋土層の基底付近から有楽町層最上部にかけて急激に上昇し、有楽町層の中部から江戸川層下部まで連続的に低下していることが示唆された。またpHに関しては、全体として有楽町層の最上部から東京層下部に

向かってpHが上昇する傾向が示唆された。電気伝導率の鉛直分布に見られる埋土層基底付近での急激な変化は、この区間に淡水レンズの境界(淡水・塩水境界)があることを示していると考えられた。pHも、この区間で変化している。これらの結果から、埋立地の造成の影響はこれより深部には及んでいないと判断された。一方、有楽町層中部から東京層内にかけての連続的な低下に関しては、①有楽町層シルト質部の岩相や物性に变化が見られず、堆積環境の違いや泥水の影響の強度の差異はないと考えられること、②江戸川層基底の礫層中の水理水頭は東京湾平均海面よりも高く、地下水の移流による溶存物質の移動は考えにくいこと、の2点から、有楽町層内の溶存物質が拡散によって東京層・江戸川層内に移動したと考えられた。ただし、江戸川層は当該地域の東方では過去に地下水開発層として利用されていたと考えられており、過去に地下水揚水に伴って江戸川層内の水理水頭の低下が生じ、有楽町層～江戸川層間で地下水の移流が生じた可能性も考えられた。この点に関しては、今後、地質コア間隙水の分析・解析を進めることによって明らかにしていく。

江戸川層下部の砂礫層(江戸川礫層)中より採取された地下水の地球化学性状は、腐植質の溶存による有色(黄褐色)、水溶性ガスの溶存による高い発泡性、強い還元性によって特徴づけられる(図4)。



図4 江戸川層下部の砂礫層中より揚水された有色地下水の様子。溶存ガスが脱ガスし、水面で発泡している。

水質組成に関しては、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ を主要な溶存成分とすることが明らかとなった（表 1）。 $\text{Cl}^-$ 濃度は約 2,700mg/l と一般的な地下水より高い値を示すが、海水の濃度よりは明らかに低く、降水を起源とする淡水が地下水の主要な起源であると判断された。また表 1 にみられる特徴は、既存研究で報告されている東京港周辺の陸地の地下水の性状と整合する。この結果から、江戸川層下部の砂礫層中には、降水を起源とする地下水が賦存していることが明らかとなった。

表 1 江戸川層下部の砂礫層中より揚水された地下水の水質組成

水温	17.6 °C
電気伝導率	9,200 $\mu\text{S}/\text{cm}$
$\text{Cl}^-$	2,724 mg/l
$\text{HCO}_3^-$	1,070 mg/l
$\text{Na}^+$	1,726 mg/l

一方、この地下水の酸素・水素安定同位体比（以下、同位体比）は、東京港内で採取された地下水と同程度の値を示した（図 5）。東京港内のデータは林・宮越（2005）より引用した。同位体比の測定結果も、江戸川礫層中の地下水が降水を起源とすることを支持している。また、江戸川礫層中の地下水の同位体比は、現代の降水によって涵養されたと判断できる埋土層中の地下水よりも低い値を示している。この差異は、本研究で得られた地下水は、現代に埋立地上から地下浸透した降水によって涵養されたものではなく、現在よりも寒冷な気候下で降水を起源とする水によって涵養されたことを示している。これは、本章の第 1 節に述べた海水準変動に伴う地下水環境の変化や、本節の前半に述べた電気伝導率の鉛直分布（図 3）とも整合する。

また、本研究で得られた地下水の  $^{14}\text{C}$  濃度および  $\delta^{13}\text{C}$  を測定し、地下水の滞留時間を検討した。この結果、 $^{14}\text{C}$  濃度および  $\delta^{13}\text{C}$  はそれぞれ  $-901.6 \pm 1.6$ 、 $-5.9\text{‰}$ であった。また pMC は  $9.8\% \pm 0.2\%$ であった。これらの測定結果から求められた“みかけ”の滞留時間は約 18,000 年であった。この値の精度については今後検討していく必要があるが、pMC が低い値を示したことは、地下水が現代に涵養されたのではないことを支持している。

これまでに述べてきた、海水準変動に伴う当該地域の地下水環境の変化や、地下水・コア間隙水の水質組成ならびに酸素・水素安定同位体比を考慮すると、本研究で得られた地下水は、最終氷期頃に降水を起源とする淡水によって涵養されたと判断された。また比較的高い塩分に関しては、現世海水の直接的な影響ではなく、沖積層の堆積過程での海水の

影響や、沖積層堆積以降の溶存物質の拡散的な移動が考えられた。

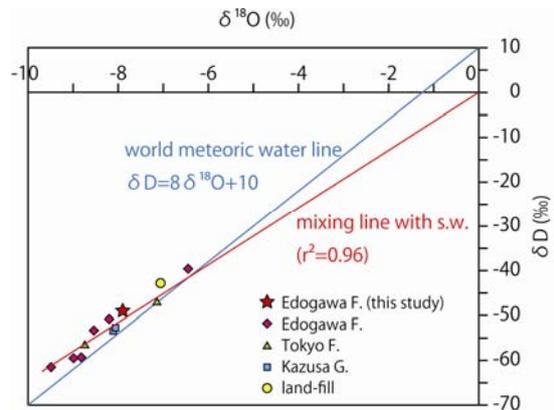


図 5 東京港内で採取された地下水（地層別）の酸素・水素安定同位体比の関係（本研究の結果および林・宮越（2005）を基に作成）

(3) 成果の国内外における位置づけとインパクト

#### ①沿岸域の地下水環境の理解への寄与

日本では、東京湾を有する関東平野や濃尾平野、大阪平野など各地の臨海平野において、江戸時代から沿岸域を干拓・埋立てて陸地を造成してきた。しかし従来の水文学的・地球化学的研究では、海水準変動あるいはこれらの人工的な環境変化の履歴や、環境変化が地下水環境に及ぼす影響については十分に考慮されていない。また、沿岸域の海側の地下水環境を、海水準変動に伴う環境の変遷ならびに地下水の地球化学性状をあわせて、高密度・高解像度に検討した研究は国内外で極めて少ない。

本研究の結果は、東京湾下には最終氷期以前に涵養された地下水が停滞的な環境下で広く賦存していることを強く示唆しており、また国内では伊勢湾や大阪湾など他地域の内湾性浅海の海底下にも、このような地下水が賦存している可能性を示唆している。本研究の成果は、国内外における沿岸域の地下水環境研究に大きく寄与するものである。

#### ②地質学分野への寄与

当該地域の地質に関する研究は多く行われているが、地層の堆積年代や堆積速度に関しては、情報の整備がまだ十分ではない。本研究によって得られた地質コアには多くの深度で貝化石やテフラが確認されている。これらの項目について分析・検討することで、堆積年代や堆積速度に関する情報を得られると期待される。

### ③土質工学分野への寄与

これまで、調査地点を含む東京港周辺地域から東京低地にかけて、地層の土質特性、特に粘性土層の脆弱性に関して土質試験を行った報告は数多くなされている。しかし、これらの地層の堆積以後の地下水環境の変遷、とくに溶存物質の挙動については十分に検討されていない。海成粘性土層の土質特性は、地層中の溶存物質が移動する（リーチング）ことによって大きく変化し、鋭敏性や脆弱性が増すことが明らかとなっている。本研究によって、更新統の地層（東京層・江戸川層）内だけでなく、沖積層（有楽町層）内においても溶存物質の移動が示唆されたことは、地層中の地下水・溶存物質の挙動の検討が沿岸低地における地層（特に沖積層）の土質工学的な強度や安定性を評価する上で重要であることを示唆している。この結果は、国内外の沿岸域の開発地域における地盤の評価において、有益な情報を提供すると期待される。

#### (4) 今後の展望

##### ①溶存物質の挙動の評価

地質コア試料中の間隙水の抽出作業を進め、間隙水の地球化学性状をより詳細に把握することで、地層内での溶存物質の挙動を把握する。

##### ②地下水の滞留時間の評価

東京港および周辺地域において地下水試料を採取し、地下水年代に関する情報を整備することで地下水年代値の確度を向上させ、地下水・溶存物質の挙動の機構ならびに速度を検討する。

##### ③地下水位・地下水温のモニタリング

掘削孔は、江戸川礫層を対象とした地下水位観測井として仕上げられており、現在、地下水位ならびに地下水温の連続観測を実施している。地下水位観測結果を東京港内の潮汐とあわせて解析することにより、江戸川礫層の水文地質学的な特性を検討する。また、地下水温に関しては多深度で観測しており、都市化や地球温暖化による地表面温度の上昇の地下温度への影響について検討する。

##### ④地質構造のより詳細な検討と土質特性の把握

地質コア中の貝化石の鑑定や年代測定、テフラの同定を進めることで、より詳細な地質構造や地層の堆積年代などを明らかにする。また地質コア試料を用いて、粒度やコンシステンシーなどの土質特性を評価する。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

(1) 林 武司, 東京湾下に賦存する地下水の化学性状の把握の試み, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 20 日, 千葉県幕張.

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

林 武司 (HAYASHI TAKESHI)  
秋田大学・教育文化学部・准教授  
研究者番号：60431805

#### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

#### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：