論 文 の 内 容 の 要 旨

論文題目　　大陸棚上島嶼における塩水・淡水分布の把握とその形成プロセスの検討
～氷河性海水準変動に基づく検討～

氏　　名　　草野由貴子

沿岸域は、人間活動が活発な場のひとつであり、沿岸域都市における地下開発や、沿岸域地下における石油地下備蓄基地，液化石油ガス（LPG）地下備蓄基地の建設・実用も実現されてきているほか、高レベル放射性廃棄物の地層処分や CCS のためサイトとしても検討されてきている。このような沿岸域における地下利用のためには長期的および短期的な地下環境の変化に関する理解が不可欠であり、沿岸域の地下水挙動の解明が重要な課題のひとつとなっている。とくに約 12 万年の周期でくり返す氷河性海水準変動が沿岸域の地下水挙動や塩水淡水分布に影響を与えていることが知られており、議論がなされてきており，例えば，大陸棚海底下や沿岸域地下深部における地下水の化学組成、地下水年代指標の分析結果からは、最終氷期に涵養された塩濃度の低い地下水が、海深度も塩水に置換されずに、海底下地層中や沿岸域地下深部に残されていることが明らかにされている（Hathaway, 1979; Edmonds and Milne, 2001; Groen et al., 2001。また，その説明として、難透水性の地層が存在することによって海進に伴う塩水の侵入に遅れが生じるためであると考えられている（Kooi et al., 2000; Groen et al., 2001;など）。

しかし、既往研究においては、現在の陸域において形成された地下水流動系の存在領域だけでなく、氷河性海水準変動の影響により形成された海底下や地下深部の地下水流動系の存在領域までをあわせた包括的な研究事例は少ない。この背景としては、陸側の地形・地質が複雑であること、陸域地下水流動系の明確な境界設定が困難であること、沿岸域における人間活動の地下水流動系の擾乱、などの理由により、沿岸域地下水流動系の全容解明が困難であることが挙げられる。これらの課題を克服するための研究対象地域として、本研究では大陸棚上の島嶼に着目した。大陸棚上の島嶼は、最終氷期に海水準が低かった時期においては、周辺が広く陸化し、より広域および地下深部まで当時の淡水地下水流動系が形成されていたことが想定されるため、大陸棚上島嶼の海底下や地下深部には最終氷期に涵養された地下水流動系が残されている場合があることが想定される。また、島嶼は現在の気候下における地下水流動系の境界を明確にしやすく、地下環境への人為影響が比

較的小さい場合が多い。これらの理由から、大陸棚上の島嶼を研究対象地域とすることで、現在の陸域地下水流動系、および氷河性海水準変動の影響により形成された海底下や地下深部の地下水流動系までを併せた、沿岸域地下水流動系の全体像を明らかにできることが期待される。そこで本研究では、現在の陸域地下水流動系、および氷河性海水準変動の影響までを含めた、沿岸域地下水流動系とその変遷を明らかにすることを目的とし、大陸棚上の島嶼である隠岐島前・中ノ島を研究対象地域として、氷河性海水準変動の影響を考慮した、塩水・淡水分布とその形成プロセスについて検討を行った。本研究により、沿岸域地下水流動系の全体像に理解が進むとともに、沿岸域地下利用や環境保全のための地下環境の評価に必要となる基盤情報の提供できることが期待される。

隠岐諸島は大陸棚上に位置しており、本研究の対象地域である隠岐島前・中ノ島は隠岐島前を構成する島の一つである。隠岐島前は約 6 百万年前の火山活動によって形成された隠岐島前火山のカルデラの外輪山、および中央火口丘の部分が島嶼を形成しており、中ノ島は外輪山東部にあたる島である（千葉他，2000）。中ノ島の表層の大部分は隠岐島前火山の活動に伴って噴出した火山岩によって覆われ、その厚さは数百 m 以上であることが推測されている（千葉他，2000）。また、その基盤は中期中新世～後期中新世の堆積岩からなる（千葉他，2000）。隠岐島前周辺の海底下には、最終氷期以降の海進に伴って底質が厚く堆積した部分はほとんど見られず、隠岐島前火山岩由来の火山岩類および基盤の堆積岩は隠岐島前の周辺においては海底に露出している（海上保安庁 1990）。

本研究では、まず中ノ島の地下水中の溶存成分、年代指標濃度、同位体組成の分析結果や地質に関する情報をもとに、地下水やその溶存成分の起源、地下水の年代、およびその成因を明らかにするともに、その分布について検討を行った。また、より広域における塩水・淡水分布を明らかにするために、電磁探査 CSAMT 法による比抵抗探査、および現地より採取した岩石試料の比抵抗計測を行い、これらの結果と地下水の化学組成の結果、および地質に関する情報とを併せて考察することで、地下における塩水淡水分布およびその形成プロセスの検討を行った。

本研究で採取した地下水中の溶存成分、年代指標濃度、同位体組成の分析結果から、深度 100m 以浅に賦存する地下水は天水起源であり、その主体は過去 60 年以内に涵養された地下水を主な起源とする滞留時間の比較的短い地下水流動系からなる一方、局所的には寒冷な気候下で涵養された地下水を起源とする、より滞留時間の長い地下水流動系が火山岩中に存在することが示された。また、温泉井（スクリーン深度 566~866m）から採取した地下水は、現在よりも寒冷な気候下で涵養された、火山岩中の地下水よりも年代の古い地下水であることが示され、この成因として、最終氷期に隠岐島前の周辺が広く陸化していた時期に涵養された淡水地下水が、海進後も塩水に置換されずに残っていることが推測された。また、中ノ島には温泉井が掘削されており、温泉井掘削時の報告書（協和地建コンサルタント，1995）およびそれに関わる資料（海士町未公表資料）によると、温泉井において、120m までの掘削時に採水された水試料の Cl^- 濃度は海水の 0.2%程度、310m ま

での掘削時に採水された水試料の Cl^-濃度は海水の 18%程度を示した一方、477m までの掘削時および温泉井掘削後に採水された水試料の Cl^-濃度は、それぞれ海水の約 6.8%、3.8%であり、深度方向に低下した。上記の結果を踏まえると、温泉井掘削地点の地下におい 100m 以浅には現在の気候下での降水起源の淡水地下水、120～477m の少なくとも一部には塩濃度の高い地下水、温泉井スクリーン深度（スクリーン深度 566~866m）にはから採水された塩濃度が低く寒冷な気候下で涵養された、より年代の古い天水起源の地下水，が存在していることが示された。

温泉井掘削地点を東西に横切る KT 測線において、電磁探査 CSAMT 法による比抵抗探査を行って得られた比抵抗値をもとに 2 次元解析を行った結果、KT 測線における比抵抗 2 次元断面では、地表～標高-100m 程度の区間に高比抵抗領域（KT-H1）、標高-100～-200m 付近には低比抵抗領域（KT-L1）、その下部では再び高比抵抗を示す領域（KT-H2）がみられ、より深部にかけて低比抵抗を示す領域（KT-L2）がみられた。この結果と、温泉井掘削地点における地質柱状図、コア記載、地下水の化学組成、および岩石試料の比抵抗計結果とを併せて考慮すると、KT−H1 の高比抵抗領域は不飽和帯および塩濃度の低い地下水で飽和した火山岩の領域、KT-L1 の低比抵抗領域は塩濃度の高い地下水で飽和した火山岩の領域、KT-H2 は塩濃度の低い地下水で飽和した火山岩および堆積岩の領域、KT-L2 の低比抵抗領域は塩濃度の低い地下水で飽和した堆積岩の領域であると解釈された。

上述の比抵抗分布の解釈と、最終氷期以降の海水準変動をあわせて考慮すると、最終氷期の海水準が低下していた時期には種変が広く陸化し、より広域および地下深部まで淡水地下水流動系が形成されていたことが想定される。続いて、最終氷期以降の海進に伴って KT-L1 に相当する領域に選択的に塩水が浸入したが、KT-H2 に相当する領域においては塩水から淡水への置換に遅れが生じ、KT-L1 に塩水が浸入する以前に涵養された地下水が残っていると解釈された。このように、中ノ島においては、塩濃度の低い地下水の上に塩濃度の高い地下水が存在するという，重力的に不安定な分布となっており、このような分布を引き起こす特有の水文地質構造が存在すると考えられる。とくに、海進に伴って選択的に KT-L1 に相当する地層中に塩水が侵入するためには、特有の水理地質構造および地下水の流動ポテンシャル等の条件が整っていることが必要であり、上述の塩水淡水分布の結果からは、中ノ島ではそれらの条件が整っていたことが推測される。

本研究では、大陸棚上島嶼を対象地域とすることで、現在の陸域地下水流動系、および氷河性海水準変動の影響までを含めた、沿岸域地下水流動系とその変遷を明らかにすることを目的とし、中ノ島を対象地域として、氷河性海水準変動に伴う地下の塩水・淡水分布の形成プロセスについて検討を行った。その結果、中ノ島においては特有の水理地質構造および当時の水理条件が氷河性海水準に伴う塩水・淡水分布に強く影響していることが考えられた。また、大陸棚上の島嶼を研究対象地域としたことで、現在の陸域地下水流動系および氷河性海水準変動により形成された地下水流動系までを含めた検討を行うことができ、このことは、より系が複雑な大陸の沿岸域の地下水流動系の変遷の理解にも貢献でき

ることが期待される。本研究により得られた成果は、沿岸域地下水流動系の全体像の解明に貢献するとともに、沿岸域地下利用や環境保全のための地下環境の評価に必要となる基盤情報の提供できることが期待される。