

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：21580303

研究課題名（和文）温度上昇が淡水レンズ水資源賦存量に及ぼす影響評価

研究課題名（英文）Evaluation of relationship between temperature increase and the amount of water resource of freshwater lens

研究代表者

石田 聡（ISHIDA SATOSHI）

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・資源循環工学研究領域・主任研究員

研究者番号：30414444

研究成果の概要（和文）：沖縄県多良間島およびマーシャル諸島共和国ローラ島において現地調査を行い、淡水レンズ地下水賦存量がそれぞれ680万<sup>3</sup>、200万<sup>3</sup>であることを明らかにした。また、室内実験およびシミュレーションにより、温度上昇により透水係数が50%大きくなると淡水レンズ厚が約18%減少することを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：It was clarified that the amount of freshwater lens was 6.8 million m<sup>3</sup> in Tarama Island and 2.0 millions m<sup>3</sup> in Laura Island, Republic of the Marshall Island by field surveys. Laboratory experiment and simulation clarified that the thickness of freshwater lens decreases by 18% when temperature increasing hydraulic conductivity by 50%.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：水文・淡水レンズ

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化による大気や海洋の平均温度の上昇や、それに伴う気候変動は、水資源にさまざまな影響をもたらすと予想される。特に水源を、海水と淡水の密度差によって帯水層中に形成される淡水レンズに依存している珊瑚礁起源の小規模離島においては、海面上昇や、平均温度の上昇によって深刻な影響を受けるとされており、水資源保全

のため、その影響評価は喫緊の課題である。

2. 研究の目的

本研究ではこれらの影響因子のうち、温度に着目する。淡水レンズを形成している地下水の温度が上昇すれば、水の粘性が減少することにより淡水レンズが縮小して、水資源賦存量が減少すると予想される。このため本研究では、

将来の温度上昇に対する水資源保全策の策定に資することを目的とし、淡水レンズが存在する離島において、淡水賦存量を明らかにするとともに、温度上昇が淡水レンズ水資源賦存量に与える影響を評価する。

### 3. 研究の方法

(1) 実験水槽内に帯水層を模した媒体（豊浦標準砂など）を充填し、槽の両端から塩水を、上側から降雨発生装置によって淡水を供給し、淡水レンズを発生させた。同時に、槽外に設置された潮汐発生装置によって塩水の水位を上下し、潮汐を模擬的に発生させた。槽内の帯水層に対応する部分には分布的に電気伝導度計を設置し、帯水層における淡水レンズの形状を定量的に測定し、潮汐の淡水レンズ形状への影響を評価した（図1）。

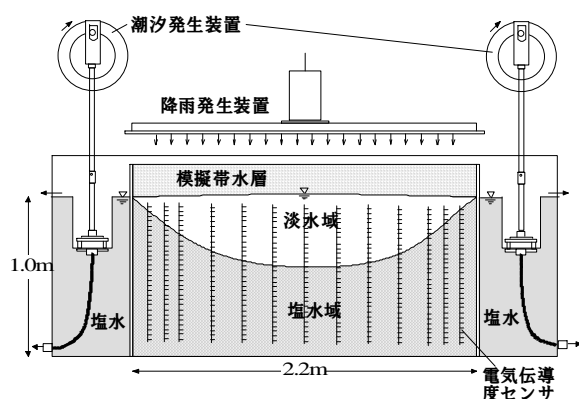


図1 実験装置概要図

(2) 淡水レンズが発達しており水資源として利用されている沖縄県多良間島、マーシャル諸島共和国マジュロ環礁ローラ島をモデル調査地に選定し、地下水観測孔における深度別電気伝導度測定、電磁探査による地盤の導電率測定、電気探査による地盤の比抵抗測定を行い、地下水中の塩淡境界を分布的に把握し、淡水地下水分布体積を求め、有効間隙率を乗じて淡水地下水賦存量を求めた。

(3) (2)の結果を受け、沖縄県多良間島を対象に淡水レンズ賦存状況を模したモデルを作成した。解析コードはアメリカ地質調査所のSEAWATを用い、多良間島を含む約14km×14kmの平面領域を100m～200mのグリッドに分割し、鉛直方向に18層に分割した（図2）。

また温度上昇によって透水係数が50%増加した場合の淡水レンズ厚の変化を計算によって求めた。

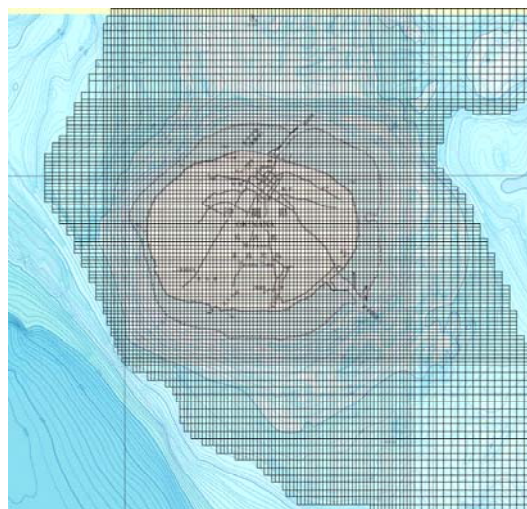


図2 メッシュ区分図

### 4. 研究成果

(1) 作成した実験装置で用いた塩分濃度センサーは2点の抵抗値を測るものであったが、予備試験によって塩分濃度と抵抗値には相関関係が見られ、センサーとして機能することが確認された。このセンサーと、模擬帯水層・降雨発生装置によって再現した淡水レンズ形状の変化は、潮汐発生装置の稼働による潮位変化に対し、塩淡境界が上下するものであったが、その変化幅は淡水レンズの中央部ほど小さくなった。潮汐の影響の及ぶ範囲は、大凡潮位変動幅の2～3.3倍程度であった。

(2) 沖縄県多良間島における調査では、島内7箇所地下水観測孔および12箇所既存井戸において、地下水の電気伝導度の深度別測定および電磁探査を行った。電気伝導度の深度別測定では、電気伝導度200mS/m以下の淡水の厚さを実測できた12箇所における淡水厚は0～7.2mであった。また電磁探査結果の解析により推定された塩淡境界深度は、地下水観測孔における電気伝導度1,840 mS/mを示す深度に対応していた。電気伝導度の深度別測定より求めた、電気伝導度が1,840mS/mを示す深度と、200mS/mを示す深度との相関関係は $R^2=0.9$ 以上であった（図3）。これより、塩淡境界深度が未知の7箇所において地下水測定および電磁探査結果から淡水の厚さを推定し、淡水地下水賦存量を求めた。

# 様式 C-19

ところ約680万 $m^3$ であった(図4)。

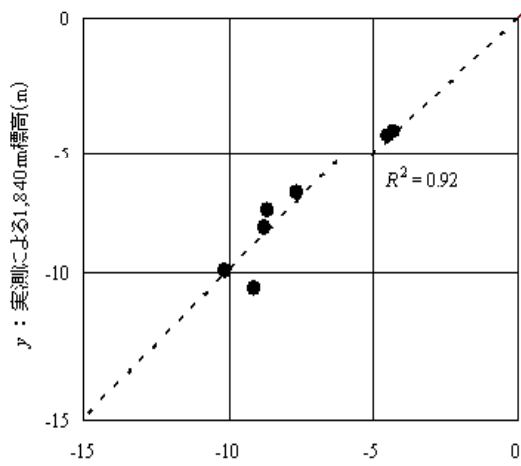
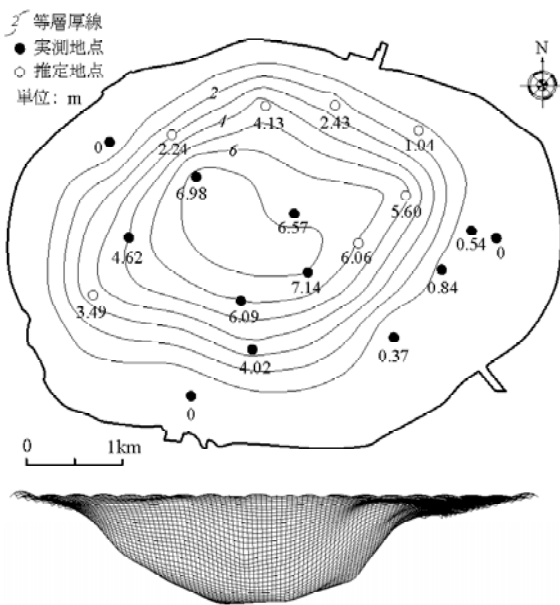


図3 電磁探査結果と電気伝導度実測値の比較

図4 上段: 淡水レンズ等層厚線図,



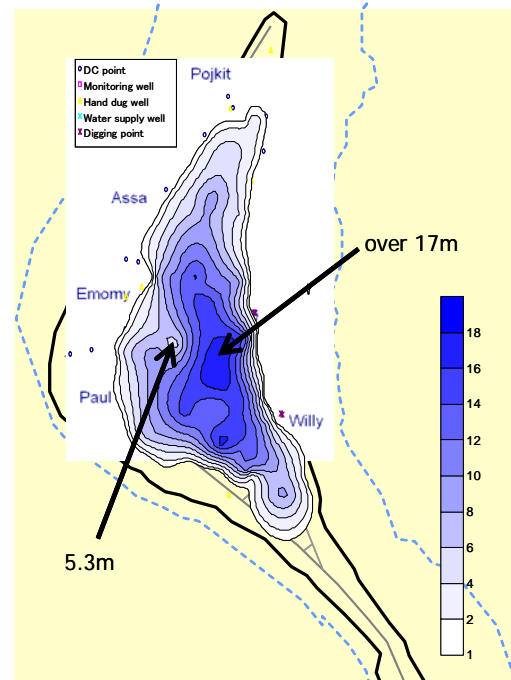
下段: 淡水レンズ下面形状

マーシャル諸島共和国マジロ環礁ローラ島における調査では、観測孔における地下水の電気伝導度測定、垂直電気探査による地盤の比抵抗測定、ループ・ループ法電磁探査による地盤の導電率測定を行った。

観測孔における地下水の電気伝導度測定は2箇所×4深度で行ったが、うち1箇所は電気伝導度200mS/mの深度が9.6m、標高6.7mであり、もう1箇所は4深度(最大13.1m)とも200mS/m未満であっ

た。箇所で実施した電気探査結果より、電気伝導度200mS/m以下の淡水域が発達している箇所では、標高-数mに比抵抗の極大値が存在した。地下水の電気伝導度測定結果と、同地点で行われた電気探査の比抵抗分布を対比すると、比抵抗値18.1 $\Omega m$ が地下水の電気伝導度200mS/mに相当した。この結果をもとに、他の2地点において、電気探査によって求められた比抵抗分布より電気伝導度200mS/m深度を推定した。以上によって得られた3箇所の電気伝導度200mS/m深度と、同地点で行われた電磁探査による見かけ導電率を比較し、両者に正の相関があることを確認し、近似式を求めた。求めた近似式より、他の地点で行われた電磁探査によって得られた見かけ導電率を、電気伝導度200mS/m深度に換算し、淡水地下水分布断面図を作成した。地下水の塩淡水境界は外洋側で浅く、ラグーン側で深くなっており、既往の研究と整合的であった(図5、図6)。

図5 淡水レンズ等層厚線図



求めた淡水レンズ分布形状に、既往研究で求められた有効間隙率0.2を乗じ、淡水地下水賦存量を求めたところ約200万 $m^3$ であった。

(3) モデルの検定では、現地で測定された深度方向の電気伝導度分布が再現できるように試行錯誤により水文パラ

メーターを変更し、最終的にモデルを固定した（表1）。なお、涵養量は2mm/日、解析時間はほぼ定常状態となる100日とした。

図6 淡水レンズ下面形状

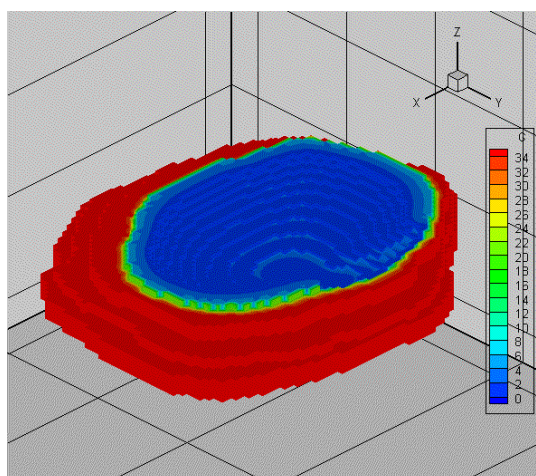


表1 主な水文パラメータの設定値

項目	設定値
透水係数(石灰岩)	$0.88 \times 10^{-0} \sim 0.25 \times 10^{-0} \text{cm/sec}$
透水係数(基盤)	$1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$
有効空隙率	0.15
縦分散長	0.5
横分散長	0.05

設定したモデル（図7）により海面を現況より50cm上昇させ、淡水レンズ賦存量の変化を計算したが、淡水レンズ体積に殆ど変化が見られなかった。

図7 塩淡境界の分布



これは海面が上昇しても水没する面積が小さい、調査地の地形によるものと考えられる。

また、温度上昇により透水係数が50%大きくなると仮定して、淡水レンズ厚を計算すると、約18%減少することを明らかになった。

## 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8件）

- ① 石田 聡, 土原健雄, 吉本周平, 皆川裕樹, 増本隆夫, 今泉眞之, 沖縄県多良間島における淡水レンズ賦存量の推定, 農業農村工学会論文集 (査読有), 273, 2011, 7-18
- ② 石田 聡, 吉本周平, 小林 勤, 幸田和久, 土原健雄, 中里裕臣, 増本隆夫, 今泉眞之, 物理探査手法を用いた地下水中の塩淡境界測定, 農村工学研究所技報 (査読有), 211, 2011, 9-20
- ③ 石田 聡, 中里裕臣, 吉本周平, 土原健雄, 増本隆夫, 今泉眞之, 複数の物理探査手法を用いた島嶼部における淡水レンズ調査法, 平成22年度農村工学研究所研究成果情報 (査読有), 2011, 7-8
- ④ 石田 聡, 土原健雄, 吉本周平, 今泉眞之, 電磁探査法を用いた地下水塩淡境界測定, 水と土 (査読なし), 164, 2011, 73-75
- ⑤ 石田 聡, 電磁探査法の淡水レンズ地下水調査への応用, 物理探査ニュース (査読なし), 10, 2011, 5-6
- ⑥ 石田 聡, 吉本周平, 小林 勤, 幸田和久, マーシャル諸島共和国マジュロ環礁における地下水の塩水化について, 地盤工学会誌 (査読有), 58(5), 2010, 22-25
- ⑦ 石田 聡, 土原健雄, 吉本周平, 皆川裕樹, 増本隆夫, 今泉眞之, 沖縄県多良間島における淡水レンズ形状, 農村工学研究所技報 (査読有), 210, 2010, 1-10
- ⑧ 石田 聡, 土原健雄, 吉本周平, 皆川裕樹, 増本隆夫, 今泉眞之, 電磁探査による効率的な地下水塩淡境界深度測定法, 平成21年度農村工学研究所研究成果情報 (査読有), 2010, 11-12

〔学会発表〕（計12件）

- ① 石田聡, 吉本周平, 沖縄県多良間島の淡水レンズ地下水について, 山形

## 様式 C-19

- 大学農学部地盤環境工学研究室 地下水開発技術に関するセミナー，2011.11.15，鶴岡市
- ② 吉本周平，土原健雄，石田聡，今泉眞之，沖縄県多良間島の淡水レンズにおける硝酸性窒素および負荷源の現況について，日本地下水学会2010年秋季講演会講演要旨，2010.11.11，和歌山市
- ③ Satoshi Ishiada，Shuheii Yoshimoto 1, Tsutomu Kobayashi, Kazuhisa Kodada, Yuzo Mampuku, Takeo Tsuchihara and Masayuki Imaizumi, Mapping of Freshwater Lens on Laura Island using Geophysical Exploration, Proceedings of 2011 International Joint Symposium between IECS (Korea), and NIRE, CERl (Japan), 2011.11.8, 釜山 (韓国)
- ④ Satoshi Ishida, Shuheii Yoshimoto, Mapping of Freshwater Lens on Laura Island using Geophysical Exploration, The Seminar on the Conservation and Management of the Freshwater Lens, 2011.10.14, Majuro, (Republic of the Marshall Island)
- ⑤ Shuheii Yoshimoto, Satoshi Ishida, Results of the 2009-2010 research on groundwater quality in the freshwater lens in Laura, The Seminar on the Conservation and Management of the Freshwater Lens, 2011.10.14, Majuro, (Republic of the Marshall Island)
- ⑥ 石田聡，吉本周平，小林 勤，幸田和久，土原健雄，万福裕造，今泉眞之，マーシャル諸島共和国マジュロ環礁における物理探査による塩淡境界深度測定，平成23年度農業農村工学会大会講演会，2011.9.8，福岡市
- ⑦ Satoshi ISHIDA and Shuheii YOSHIMOTO, Result of Electromagnetic Survey in Laura, Seminar on the Conservation and Management of the Freshwater Lens, Majuro, Republic of the Marshall Island, 2010.10.15, Majuro (Republic of the Marshall Island)
- ⑧ 中里裕臣，石田聡，土原健雄，吉本周平，皆川裕樹，TDEM による多良間島における淡水レンズ調査，物理探査学会第121回学術講演会，2009.11.24，名古屋市
- ⑨ 吉本周平，石田聡，小林勤，幸田和久，万福裕造，土原健雄，今泉眞之，マジュロ環礁，ローラ地区の淡水レンズにおける主要イオンおよび硝酸性窒素分布，日本雨水資源化システム学会大会第18回研究発表会講演要旨集，2011.11.6，松山市
- ⑩ Satoshi ISHIDA, Shuheii YOSHIMOTO, Takeo TSUCHIHARA, Hiroki MINAKAWA, Takao MASUMOTO, Masayuki IMAIZUMI, Investigation of freshwater lens on Tarama Island, Japan, International Joint Symposium between IECS (Korea), NIRE and CERl (Japan), Busan, 2009.11.3, 釜山 (韓国)
- ⑪ Satoshi ISHIDA, Shuheii YOSHIMOTO, Takeo TSUCHIHARA, Hiroki MINAKAWA, Takao MASUMOTO, Masayuki IMAIZUMI, Case Study in Tarama Island in Japan, 2009 International Seminar on the Freshwater Lens between R&D (RMI), JIRCAS and NIRE (Japan), Majuro, 2009.11.3, 釜山 (韓国)
- ⑫ 石田聡，土原健雄，吉本周平，皆川裕樹，増本隆夫，今泉眞之，沖縄県多良間島における電磁探査法を用いた淡水レンズ調査，平成21年度農業農村工学会大会講演会，2009.8.4，つくば市
- [その他]  
ホームページ等
- ① 吉本周平，地表から地下水を捉える～二つのコイルを使う電磁探査法～，農村工学研究所メールマガジン，2011, 17

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

石田 聡 (ISHIDA SATOSHI)  
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・資源循環工学研究領域・主任研究員  
研究者番号：30414444

#### (2) 連携研究者

土原健雄 (TSUCHIHARA TAKEO)  
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・農村総合研究部・主任研究員  
研究者番号：30399365  
(平成21・22年度連携研究者)

吉本周平 (YOSHIMOTO SHUHEI)  
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・資源

循環工学研究領域・研究員  
研究者番号：10435935  
(平成22・23年度連携研究者)