

結晶片岩-花崗閃緑岩地質境界における 地下水・表流水の交流特性

GROUNDWATER-SURFACE WATER INTERACTION ALONG GEOLOGICAL BOUNDARY OF CRYSTALLINE SCHIST AND GRANODIORITE

広城吉成¹・松本大毅²・横田雅紀³・堤敦⁴・神野健二⁵
Yoshinari HIROSHIRO, Masataka MATSUMOTO, Masaki YOKOTA,
Atsushi TSUTSUMI and Kenji JINNO

¹正会員 工博 九州大学准教授 工学研究院環境都市部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

²非会員 工修 九州大学工学府都市環境システム工学 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

³正会員 工修 九州大学助教 新キャンパス計画推進室 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

⁴正会員 工博 (株)エスジー技術コンサルタント (〒840-0805 佐賀県佐賀市神野西4-18-25)

⁵正会員 工博 九州大学教授 工学研究院環境都市部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

Around the new campus of Kyushu University, located in western Fukuoka city, groundwater is a major source for drinking water and industrial greenhouse water supplies. For a better management of available water resources in this area, a combined study of a field tracer test and electrical resistivity survey was made to investigate the interaction between groundwater and surface water along geological boundary.

The results suggested that; 1) the tracer test using ^{222}Rn can be used to identify locations where an active exchange between groundwater and surface water is present, and that; 2) It is also expected that the groundwater flow should take place along the geological boundary of crystalline schist and granodiorite, because the electrical resistivity showed low resistivity around the geological boundary.

Key Words : groundwater-surface water interaction, ^{222}Rn , groundwater level, groundwater quality, electrical resistivity survey, geological boundary

1. はじめに

水に関する問題は多岐・多方面にわたっており、量としての側面、質としての側面または両者を合わせた両面から様々に議論されている。九州大学新キャンパス移転用地である福岡市西区元岡・桑原地区では、施設園芸用水や飲料水に地下水が利用されている。2000年6月から九州大学新キャンパス建設のための造成工事が開始され、林地開発による地下水への影響が懸念されている。そのため1996年より、九州大学新キャンパス周辺では地下水位の長期観測が行われている。新キャンパス東南地域は沿岸部に近く、既に地下水の塩水化が確認されている¹⁾。桑原地区を流れる大原川には湧水源(幸の神湧水)があり、地域の重要な農業用水源となっている。また、地質境界(結晶片岩-花崗閃緑岩)が大原川を横切る形で存在し、それが地下水・表流水相互にどのような影響をもたらしているか、その解明は地域の健全な水資源利用のため非常に重要である。

本研究では、放射性同位体であるラドン(^{222}Rn)を用い、地下水と大原川の交流状況を確認した²⁾。ラドンは半減期が約3.8日と短寿命であり、地下水と河川水中で大きな濃度差をもつという特徴がある。例えば、ラドンを利用した水文学的研究として、濱田・小前³⁾による地下水の浸出と河川水の伏流の定量解析が挙げられる。

本報では、前述のラドン調査結果に加え、地質境界上に点在する観測井の地下水位変動、地下水水質および地質境界上を横断した電気探査調査結果と合わせて、結晶片岩-花崗閃緑岩地質境界における地下水・表流水の交流を明らかにし、この地域の水循環特性について検討を行った。

2. 調査地域の概要

図-1は九州大学新キャンパス(伊都キャンパス)の位置を示している。九州大学伊都キャンパスは福岡市西部にあり、福岡市西区と前原市、志摩町にまたがっている。

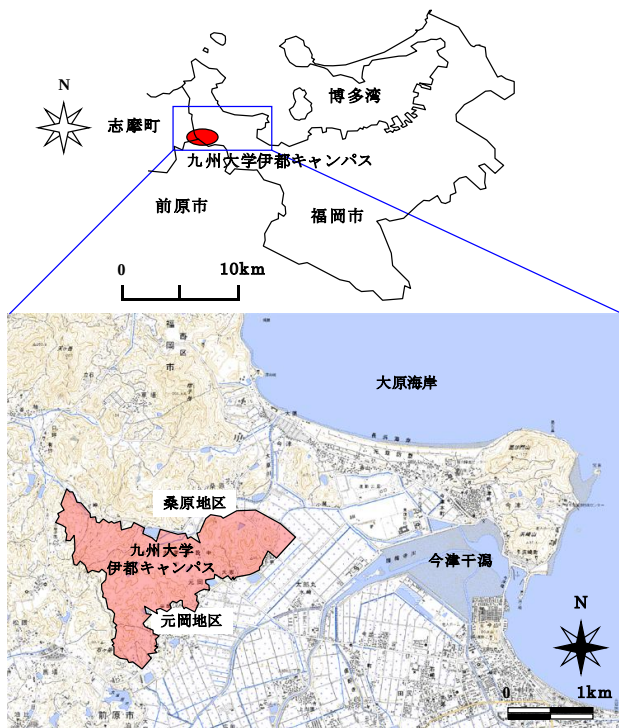


図-1 調査対象地域

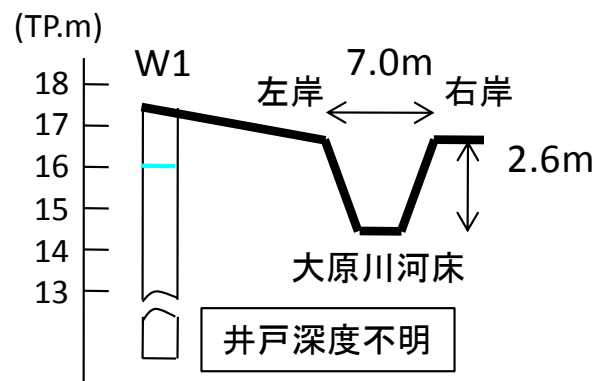


図-3 W1の地下水位と大原川断面との関係

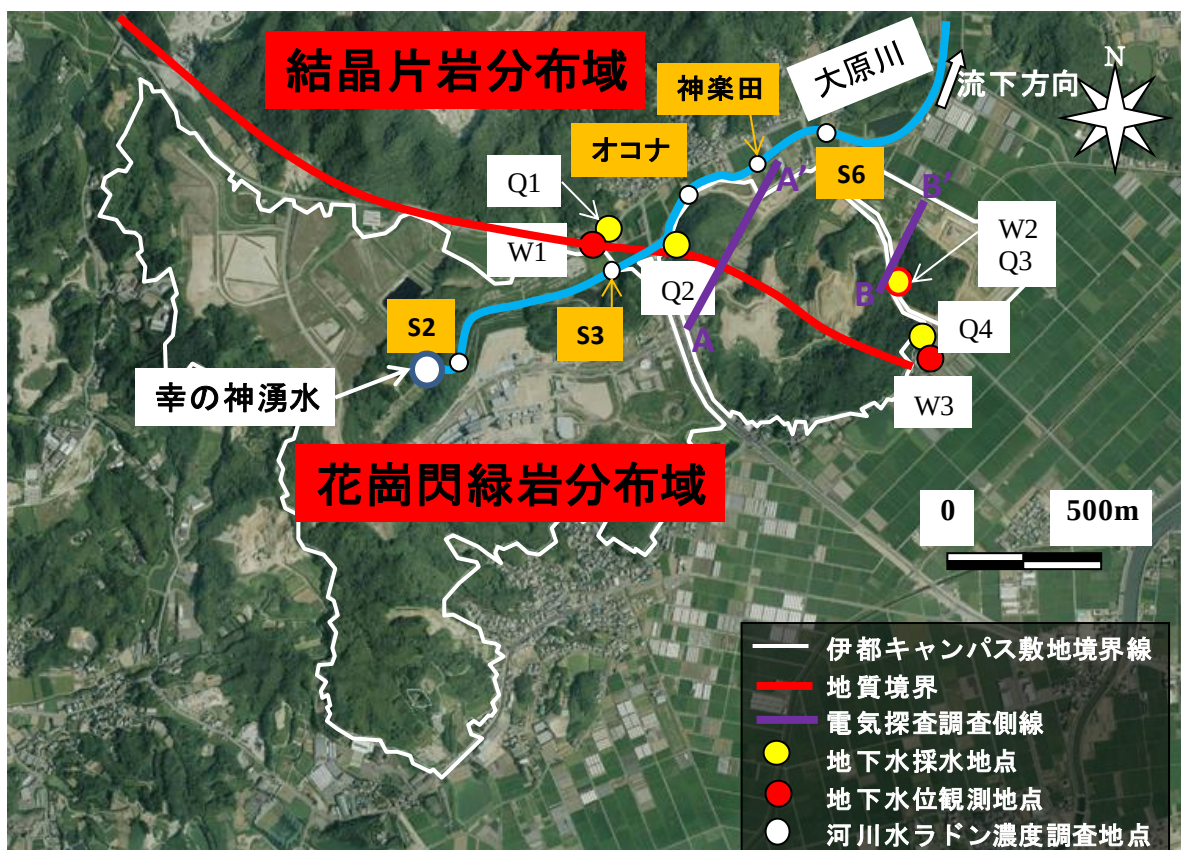
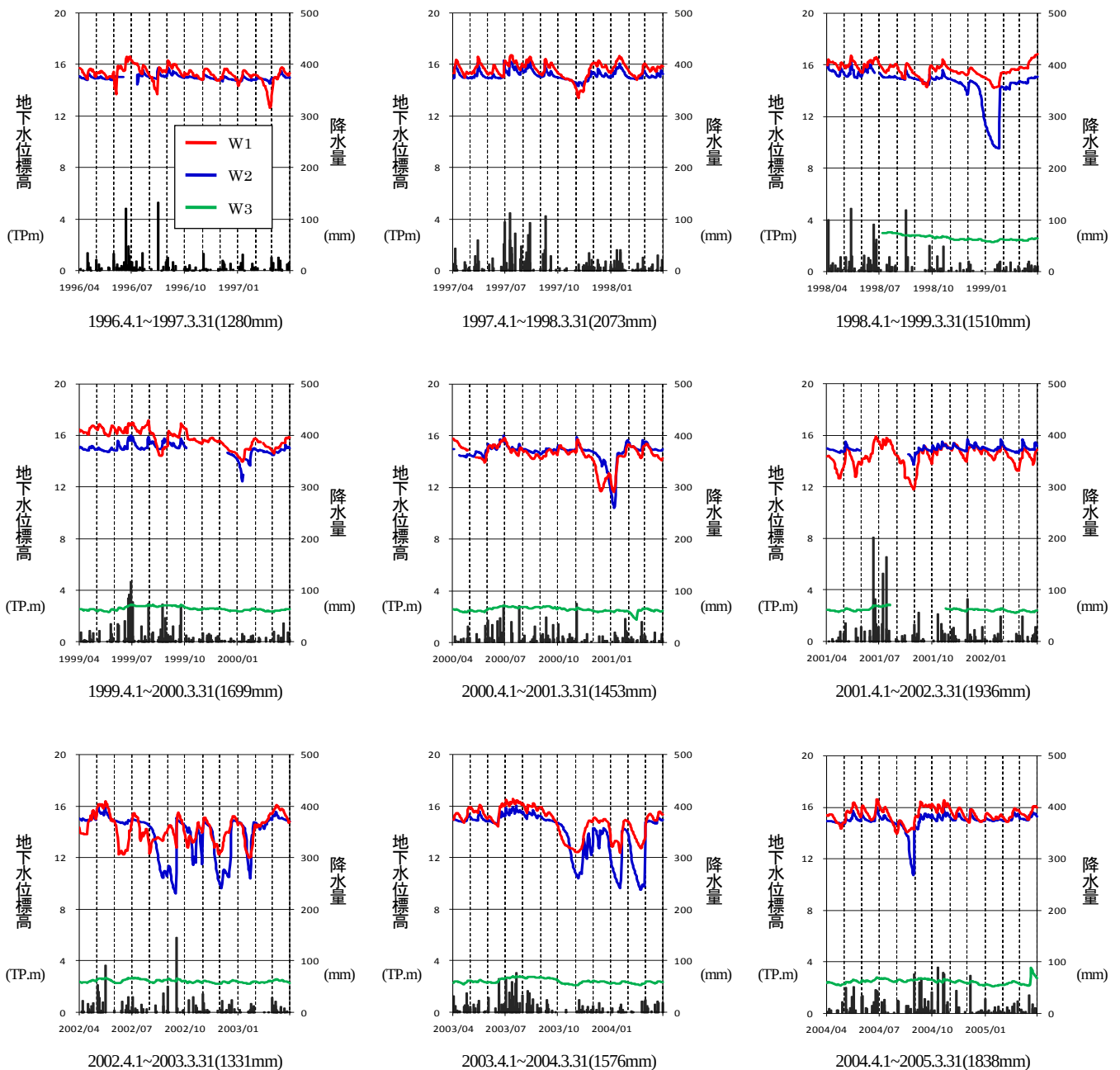


図-2 調査対象地域の詳細（地下水位・地下水水質・ラドン濃度調査地点および電気探査側線，地質境界）



孔口標高 W1 : 17.3 TP.m, W2 : 16.4 TP.m, W3 : 3.5TP.m

図-4 W1, W2, W3における地下水位標高変動 (TP.m)

総面積は275haであり、造成予定面積は170haを計画している。造成予定地以外のエリアは保全緑地として残すことになっている。

糸島半島の地質⁴⁾は、主に古生代二疊紀～石炭紀の三郡変成岩類及び中生代後期白亜紀の糸島花崗閃緑岩よりなり、これら基盤岩の上位には新生代第四紀完新世～更新世の未固結な堆積物が分布している。三郡変成岩類は主として結晶片岩（緑色片岩ないし泥質片岩）からなり、糸島半島の北部をほぼ東南東 - 西北西方向に帯状に分布

しており、その両側は花崗閃緑岩と接している。花崗閃緑岩は、移転用地の東部を除く地域とその西側に広く丘陵地を形成して分布しており、粗粒～中粒の花崗閃緑岩で角閃石と黒雲母を30%程度含み、ペグマタイトやアプライトの岩脈がしばしば認められる。伊都キャンパスにおいては東部の変成岩類及び沖積層の範囲を除く地域で分布しており、全体の8割以上の面積を占めている。

図-2は地下水位および地下水水質調査地点、地質境界、大原川におけるラドン濃度調査地点、電気探査調査側線

位置を示している。W1, W2, W3は自記式地下水位計によって1時間に1度、地下水位を記録する観測井であり、24時間分の地下水位データを平均して日平均地下水位とした。またQ1, Q2, Q3, Q4は地下水水質を調査した地点である。Q1, Q4は民家所有の井戸で、採水は家庭用ポンプによる汲み上げで、約5分間放流後に採水した。Q2, Q3の地下水の採水は2008年1月25日にベラー採水器を用いて行った。Q2は地質調査のための掘削された井戸、またQ3とW2は同一地点の観測井である。地下水位観測井であるW1, W3は水位計の固定および井戸の構造上、採水できなかったため井戸深度が同程度で直近の井戸（それぞれQ1, Q4）で水質を評価した。井戸のストレーナー構造についてはQ2, Q3以外は民家所有の井戸で詳細は不明であった。Q2は地表面から5m以深に、Q3は地表面から50cm程度以深にスリットが施されていた。

大原川は概ね西から東方向に流れ、S2からS3までの区間はコンクリートの3面張(川幅約4m)であるが、S3から下流は砂礫〜砂河床へと変化する。図-2中、大原川にて白丸で表記した地点では、ラドン濃度の測定をおこなった。また、S3, オコナ(川幅約7m), 神楽田(川幅約7m), S6(川幅約7m)地点ではプロペラ式微流速計を用いて流量の観測を行った。流量は、スケール等を用いた計測から概算した断面積と、プロペラ式微流速計を用いて計測した流速を用いて算定した。なお、観測は2004年12月3日に行い、近傍の前原雨量観測所での観測前1週間の降雨量は2mmであり、流況は平水時の流況であった。

図-3には地下水位変化と孔口標高がわかっているW1と大原川河床標高の関係を示している。水深は20cm程度、河床勾配は約1/200である。なお、水平方向のスケールは大原川断面形状(川幅)を示すために考慮していない。この図より、W1の地下水位が大原川の河床より若干高いことがわかる。

3. 結果と考察

(1) 地下水位の長期変動

図-4には地下水位観測井W1, W2, W3の1996年4月から2005年3月までの9年間の地下水位変動を示している(W3のみ地下水位調査開始は1998年7月から)。また本調査地域より約5km離れた前原アメダス調査地点における年降水量を図中に示している。この地域の年平均降水量は約1700mmである。

W1, W2の地下水位は多雨年、少雨年に関係なく変動している。また、W3はW1, W2より孔口標高が低く低地部に位置し、地下水位の変動幅が小さい。一方、W1とW2の地下水位変動は似た傾向を示しており、W2はW1より変動幅が大きくなっている。W1とW2の直線距

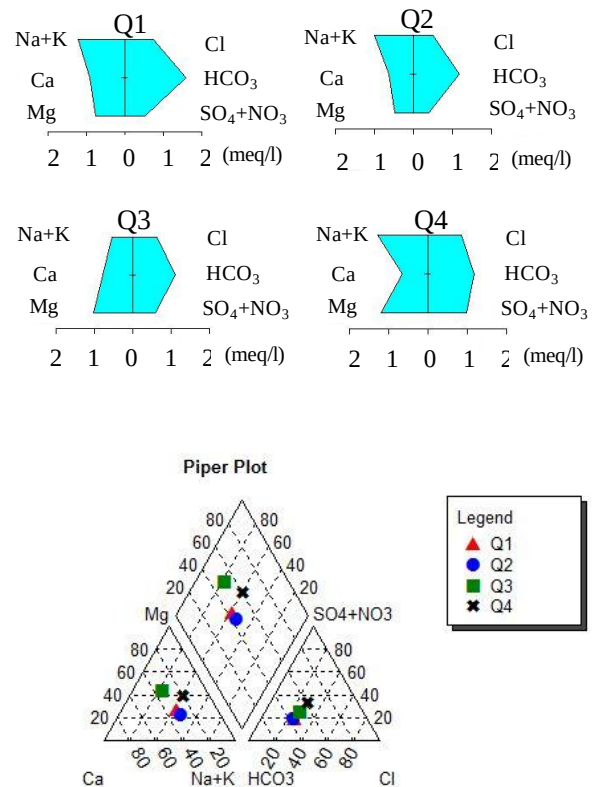


図-5 ヘキサダイアグラム（上段）とトリリニアダイアグラム（下段）

離は約1000mであり、W1とW3のそれは約1200mである。地質境界上にあるのはW1とW3であるが、両者の間に地下水位変動の類似性は見られない。地下水位変動の特徴から、W1とW2は地下水の応答が連動する同じ水脈と考えられる。

(2) 地下水水質の特徴

図-5はQ1, Q2, Q3, Q4の水質をヘキサダイアグラムとトリリニアダイアグラムで示している。図-5上段のヘキサダイアグラムから、Q1とQ2においてQ2がQ1より溶存化学種濃度が若干低いものの、両者は相似形を示している。Q3はQ1, Q2とNa+KとMgで異なった形状を示している。また、Q4はQ1, Q2, Q3と異なった形状であるが、Q1とQ3のヘキサダイアグラムを合わせた形状となっている。

次に、図-5下段のトリリニアダイアグラムから、Q1, Q2, Q3, Q4ともに陰イオンはほぼ同一箇所にプロットされたが、陽イオンにおいて違いがみられた。これはヘキサダイアグラムで示されたようにQ1, Q2, Q4ではNa+K濃度が高く、Q3, Q4ではMg濃度が高かったためである。

以上、地下水水質結果よりQ1, Q2はほぼ同一の水質、Q3, Q4はQ1, Q2と異なっているものの、Q4はQ1とQ3を合わせた水質を示していることから、アプライト岩脈

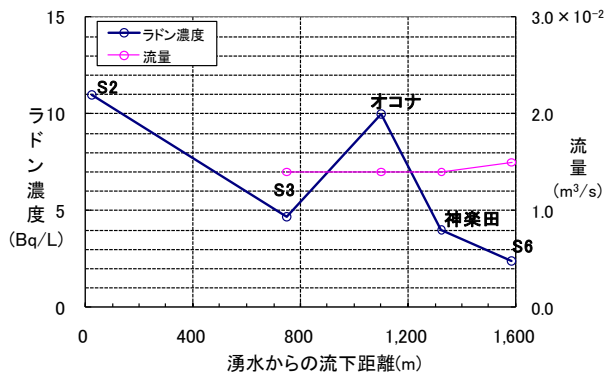


図-6 大原川におけるラドン濃度と流量変化

が複雑に発達した地質境界に沿って地下水が流れているものと推察される。

(3) ラドンによる地下水・表流水の交流解析

ラドンは化学的に不活性な希ガス元素である。半減期は約3.8日である。環境に存在するラドンの起源は帯水層物質内のラジウムである。ラジウムはウラン崩壊系列の一種であり、堆積物中ならどこにでも存在する。地層中においてラジウムの放射性崩壊で生成したラドンの一部は、固相から遊離して周辺の液相や気相に移行し、大気や水の循環によって環境に拡がっている。このように地下水中に拡散したラドンはラドンの放射性崩壊による損失とラジウムの放射性崩壊による供給の割合によって増加し、約3週間で平衡状態に達する。

一方、表流水中のようにラジウムの供給のない状況下では、ラドンはその放射性崩壊による損失の割合により、指数関数的に減少する。従って、地下水と表流水中ではラドン濃度に大きな差があり、表流水に地下水が流入している地点のラドン濃度は、他の地点と比べて高い値を示す。一般的に、地下水中のラドン濃度は $10^0 \sim 10^2 \text{ Bq/L}$ 、表流水中では $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ Bq/L}$ のオーダーである。

ラドン濃度は、現地にてポリ容器を用いて試料を採水し、試料の量を1Lとした。トルエンは50mL使用し、各試料の計測時間は抽出から約4時間後、抽出したトルエンシンチレーター溶液20mLを液体シンチレーションカウンタにより、5分計測を数回実施した。計測に伴う誤差は、液体シンチレーションカウンタで計測されたラドン濃度にもよるが、今回のラドン濃度レベルでは $\pm 2\%$ 程度であった。

大原川でラドン濃度の測定を行った地点は図-2示したS2, S3, オコナ, 神楽田, S6, そして地下水中のラドン濃度としてQ1で測定を行った。Q1でのラドン濃度は25(Bq/L)で、大原川のどの地点よりも高い値を示した。

大原川で行ったラドン濃度結果を図-6に示している。また図-6にはS3, オコナ, 神楽田, S6の4地点の流量も記載している。4地点とも流量にほとんど増減はなく、見かけ上、大原川から地下水への流出は考えにくい。し

かし、図-6では、S3～オコナ間でラドン濃度が上昇しており、同区間で地下水が大原川に流入していることがわかる。S3-オコナ間には結晶片岩と花崗岩の地質境界（図-2参照）が存在し、地下水・表流水の交流が起きていると考えられるが、S3～オコナ間で流量が増加していないことから、この区間では地質境界に沿って河川を横切る方向に地下水が通過していることが推察される。

(4) 電気探査調査による地下水賦存状況の検討

図-2に示す伊都キャンパス北東部地域を対象に電気探査を行った（A-A'測線：600m, B-B'測線：400m）。

本報では、比抵抗二次元探査の電極配置の一種である二極法（ポール・ポール配置）を用いた^{5), 6), 7)}。本手法は、受信信号が大きく、同じ電極展開距離では他の電極配置より可探深度が大きく広範囲の測定が可能であり、遠電極設置後は移動電極が二つのため測定効率が高いなどの特長がある。

本探査によって得られた比抵抗断面図を図-7に示す。A測線では0～140m付近の区間において深度GL-15m程度から深部へかけて $550 \Omega\text{-m}$ 以上の高比抵抗分布が確認できる。当区間は、地質図⁴⁾より花崗閃緑岩が分布していることが確認されているが、比抵抗値は新鮮な花崗岩（数千 $\Omega\text{-m}$ 以上）ほど高くなく、亀裂や風化が影響していると思われる。一方、140～280m付近の区間では、低比抵抗層（ $100 \sim 350 \Omega\text{-m}$ ）が分布している。この区間は地質図で示された花崗閃緑岩と結晶片岩の境界に相当している。表層は伊都キャンパス建設造成面などの人工的な整地である。250～430m付近の区間では、横長楕円形状の高比抵抗（ $350 \sim 650 \Omega\text{-m}$ ）の分布が確認でき、結晶片岩の一般的な値（ $200 \Omega\text{-m}$ 以上）を示している。なお、比抵抗値は楕円形状にプロットされているが、探査深度をより深く設定すれば岩盤の形状がある程度確認できると推測される。440～600m区間では、表層に $60 \Omega\text{-m}$ 以下の低比抵抗分布が確認できる。これは、保水・遮水機能を有する沖積粘性土層によるものと考えられる。また、当区間の北側には大原川が流れており、伏流の可能性も示唆される。

B測線では全体に比抵抗値が小さく（ $400 \Omega\text{-m}$ 以下）、花崗岩より結晶片岩の比抵抗が低いという一般特性を示している。その中で、およそ140～210m区間の深部に300～400 $\Omega\text{-m}$ の周囲に比べてやや高比抵抗の分布域が確認できる。これは近接する山体の弱風化～未風化岩盤の芯にあたり、測定範囲の条件から楕円形状にプロットされているが、A測線（0～140m, 250～430m）と同様に測線を起点側に若干延長し、探査深度をより深く設定すれば深部へ向かって徐々に比抵抗値が上昇する現象が確認できると推測される。また、概ね300～終点400m付近の表層に見られる低比抵抗は、A測線終点側と同様に沖積層の粘性土層と思われる。

以上、電気探査結果より花崗閃緑岩と結晶片岩の境界

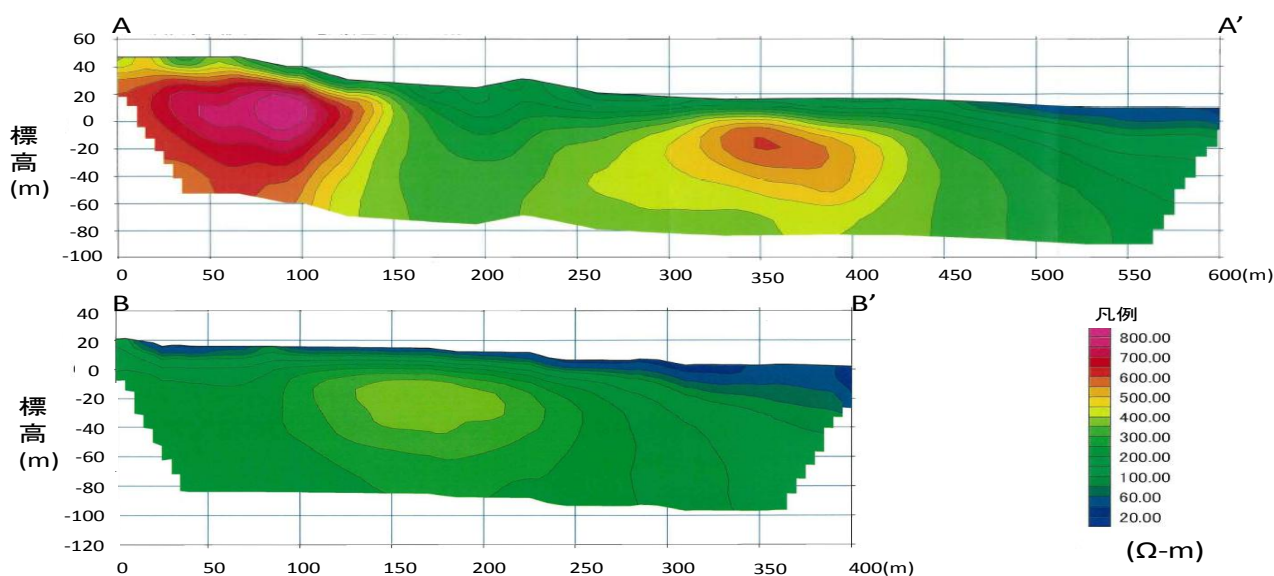


図-7 比抵抗断面

付近は周囲に比べて低比抵抗となっており、地下水が賦存しやすい状況にあることが示唆された。また、大原川沿いの低地部地下は低比抵抗領域となっており、地下水賦存領域になっていると考えられる。

4. まとめ

大原川のおこな地点より下流においてはラドン濃度が減少していることから、地下水の左右岸から大原川への流入はほとんど無いと推定された。S3-おこな間には結晶片岩と花崗閃緑岩の地質境界が存在し、同区間でラドン濃度が上昇していることから地下水・表流水の交流が起こっていると考えられるが、S3-おこな間で流量が増加していない。したがって、この区間では地質境界に沿って河川に地下水が通過していることが推察された。

地下水水質結果から、この地域の地下水は地質境界に沿った向きに流れがあることが示唆された。また、電気探査結果から、地質境界付近は低い比抵抗であることが確認でき、地下水が賦存しやすい状況にあり、地質境界付近に地下水の流れがあることが推測された。

今回、地質境界を中心に地下水位変動、地下水水質、ラドン濃度測定、電気探査調査を行い、地下水と表流水の交流関係や定性的ではあるが地下水賦存状況を明らかにすることができた。つまり地質境界に沿った地下水の流れが存在し、その境界付近と交わる大原川では河川流量は増加しないもののラドン濃度の上昇がみられ、地下水の流入があること、W1とW2は約1km離れているが地下水位の変動が類似していることである。

伊都キャンパス周辺は農業用水の逼迫した地域であり、地元の貴重な農業用水源である幸の神湧水をもつ大原川

の地下水・表流水相互作用の解明や地域の地下水賦存量の定性的評価は、今後の持続可能な水資源利用のための有用な知見であり、本報で得られた結果は小河川流域における地域水循環解明に大きく寄与するものである。

謝辞：電気探査調査およびそのデータ解析に当たっては、中央開発株式会社九州支店の山口弘志様、山本茂雄様に多大なご協力を頂きました。また、水質調査に関しては（独）水資源機構の子川直樹君（当時、九州大学大学院）に協力頂いた。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 大橋伸行, 広城吉成, 新井田 浩, 神野健二: 沿岸低地部帯水層における淡水及び塩水境界の挙動解析, 地下水学会誌, Vol.47巻, No.2, pp.235-251, 2005.
- 2) 松本大毅, 広城吉成, 神野健二, 堤 敦: 地下水流動計算と放射性同位体を用いた地下水・表流水交流解析, 水文・水資源学会誌, Vol.22, No.4, pp.286-293, 2009.
- 3) 濱田浩正, 小前隆美: 河川水と地下水の交流解析への²²²Rnの適用, Radioisotopes, 43, pp.770-775, 1994.
- 4) 唐木田芳文, 富田幸臣, 下山正一, 千々和一: 福岡地域の地質, 通商産業省工業地質院地質調査所.1994.
- 5) 高倉伸一: 高密度電気・電磁探査法による比抵抗構造の調査と解釈に関する研究, 京都大学学位論文, 2004.
- 6) 志村馨: 電気探査法, 近代地下水調査の技術, 昭晃堂, 1965.
- 7) モニー物探株式会社: 高密度比抵抗二次元探査について, <http://www2.odn.ne.jp/mony-geo/PDF/ES-TXT.pdf>

(2009.9.30受付)