陸水物理研究会報

－第 38 回研究発表会（2016 帯広大会）講演要旨－

主　催：陸水物理研究会

協　賛：大気水圏科学セクション（日本地球惑星科学連合）

期　日：2016 年 11 月 12 日（土）～ 11 月 13 日（日）

11 月 12 日（土）研究発表会

11 月 13 日（日）巡検

（広大な十勝平野の自然と開拓をたどるバス・ツアー）

会　場　：とかちプラザ（JR 帯広駅から南西へ徒歩 3 分）

講演会場：4 階講習室 401 室

〒080-0014 帯広市西 4 条南 13 丁目 1 番地

TEL：0155-22-7890

FAX：0155-22-5955

懇親会：「十勝農園」（帯広駅から北へ徒歩 8 分）

帯広市西 1 条南 9 丁目 6 番 TEL: 0155-26-4141

11 月 12 日（土）

9:55　開会の挨拶　　知北和久氏（北海道大学大学院理学研究院）

＊座長は前の発表者がおこなってください。

＜Session 1＞　10:00～12 :00

10:00　1)　御嶽山噴火後の高山湖沼及び周辺諸河川の水質変化
小寺浩二(法政大・地理)，浅見和希(法政大・院)，猪狩彬寛，堀内雅生（法政大・学）

10:15　2)　浅間山周辺の水環境に関する研究
浅見和希(法政大・院)，小寺浩二(法政大・地理)，猪狩彬寛，堀内雅生(法政大・学)

10:30　3)　壱岐島・対馬の水環境に関する研究
阿部日向子(法政大・学)，小寺浩二(法政大・地理)，池上文香(名古屋大・院)

10:45　4)　箱根山周辺の水環境-噴火(150629)後を中心に-
堀内雅生，猪狩彬寛(法政大・学)，小寺浩二(法政大・地理)，浅見和希(法政大・院)

11:00　5)　硝酸の三酸素同位体組成を利用した河川水中の硝化・同化速度測定法開発
池上文香，角皆潤，小幡祐介，安藤健太，中川書子(名大院・環境学)

11:15　6)　土壌の乾湿指標と河川流量
簗場大将（北大・環境科学院），石井吉之（北大・低温研）

11:30　7)　堆積コアから読み取る十勝海岸潟湖の変遷史と水循環
前田紳吾，知北和久(北大・理)，阪田義隆(北大・工)，
西村裕一(北大・地震火山センター)

11:45　8)　UAV リモートセンシングによる夏季高温日における水稲群落の表面温度観測
濱 侃(千葉大・院)，田中圭(日本地図センター)，近藤昭彦(千葉大・CEReS)

＝＝＝ 12:00～13:30 昼休み（90 分）＝＝＝

〈運営委員会〉　12:10～13:10

＜Session 2＞　13:30～14:45

13:30　9) 火山性深湖の熱的応答
知北和久，牧野 晶(北大・理)，大八木英夫(日大・文理)，
支笏湖 水とチップの会

13:45 10) 主成分分析を用いた大分市の温泉の分類
柴田智郎（京都大・地球熱学研究施設），黒木龍介（京都大・総合生存学館）

14:00 11) 地下水湧出の高精度計測について：
沿岸生態系は窒素制限か？今後の窒素-リン研究に向けて
小野寺真一(広島大)，齋藤光代(岡山大)，清水裕太(農研機構 西日本農研セ)，朱愛 萍(中山大)，金 広哲，友澤裕介(広島大)

14:15 12) 北海道地方とその流域圏におけるヒト・自然系
ー流域圏と環境容量からみた日本の未来可能性ー
大西文秀(ヒト自然系 GIS ラボ)

14:30 13) 岡山の地下水位とその地球潮汐に異変ー熊本地震の影響か？
北岡豪一・西村敬一・山下栄次（岡山理科大学）

＝＝＝休憩(15 分)＝＝＝

15:00 14) 高標高流域の谷底における降積雪深分布
鈴木啓助・佐々木明彦(信州大学理学部)

15:15 15) 水路内の流水量に相当する降水量受容区域の設定による小流域の水理量スケーリング
山本　博(元農研機構)，徳永英二(中央大)

15:35 16) 自己相似網とホートン則：分岐系の考察
徳永英二（中央大）

15:55 17) 不攪乱コア観察に基づく扇状地礫層の等価透水係数の異方性および深度依存性
阪田義隆（北大・工），前田紳吾（北大・院），知北和久(北大・理)

＜巡検説明＞　16:10～16:15

＜総　会＞　16:15～17:00

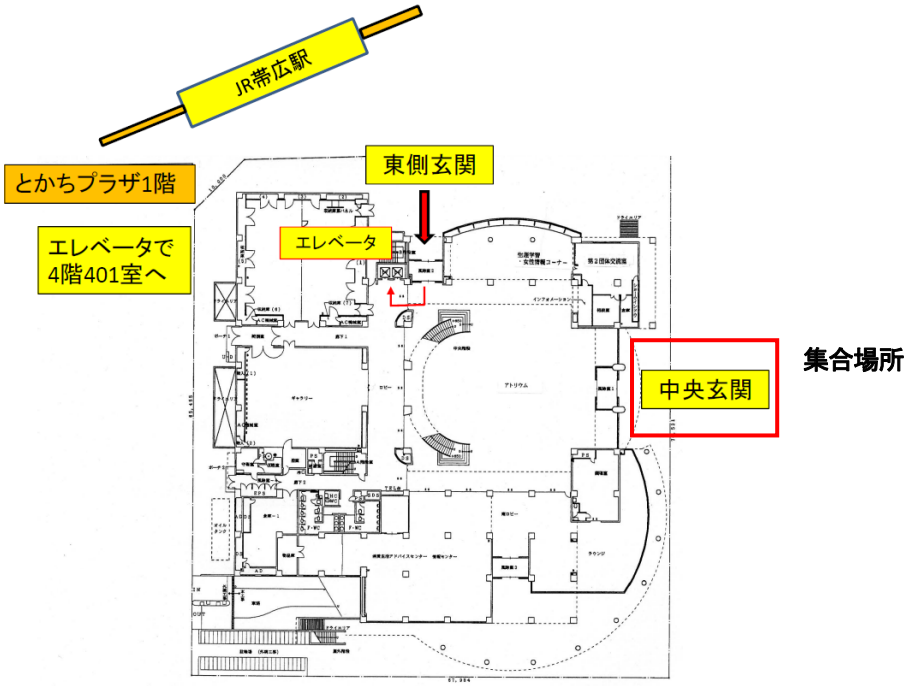
＜懇親会＞　18:00～

注 1）発表時間は質疑応答（2～3 分程度）を含みます。
注 2）進行を円滑にするため，発表者は予め備付け PC に ppt ファイルをインストールしてください（ファイルは，研究会終了後に責任をもって削除します）。

懇親会会場：「十勝農園」（帯広駅から北へ徒歩 8 分）
帯広市西 1 条南 9 丁目 6 番 TEL：0155-26-4141

<u>11 月 13 日（日）</u>： 巡検（広大な十勝平野の自然と開拓をたどるバス・ツアー）

巡検案内者： 知北和久（北大）
集合場所：JR 帯広駅南 とかちプラザ中央玄関前 午前 8 時（午前 8 時 30 分出発）



巡検ルート：JR 帯広駅 8:30 発→忠類ナウマン象記念館，河岸段丘の観察(9:30～10:30)～
ナウマン象発掘場所～開拓団・晩成社史跡公園～晩成温泉，
十勝海岸潟湖群（生花苗沼，ホロカヤントー沼），擦文人竪穴住居跡(12:20～
大樹町(昼食)～とかち帯広空港（14:00 解散），JR 帯広駅(14:40 解散)

(Googol Earth を改変)

1)

御嶽山噴火後の高山湖沼及び周辺諸河川の水質変化

*小寺浩二[1)]　・浅見和希[2)]　・猪狩彬寛[3)]　・堀内雅生[3)]
1）法政大・地理学教室、2）法政大・院、3）法政大・学

Ⅰ　はじめに

火山地域の水環境の研究は古くから盛んに行なわれており、特に噴火の影響を研究することは重要であるが、その機会は少ない。そんな中、中部地方にある御嶽山が 2014 年に 35 年ぶりに水蒸気爆発噴火し、火山噴出物が発生したため御嶽山周辺の水環境に影響があることが予想され、噴火による周辺水環境への影響を研究する貴重な機会を得られた。

そこで、当研究室では御嶽山周辺の河川水質の継続調査を行ない、水環境に対する噴火の影響を把握することを試みた。ここでは、2014 年 10 月～2016 年 8 月のデータを中心に、2016 年 10 月までの結果について報告する。

Ⅱ　対象地域

御嶽山は岐阜・長野県境に位置し、3000m を超える山としては最も西にある。山頂域には 5 つの火口湖が存在しているほか、山岳信仰の山でもある。

Ⅲ　研究方法

調査は月 1 回の間隔で実施し、現地調査項目は AT、WT、pH、RpH、EC 等である。また、雨水採取も 16 ヶ所で実施している。このほか王滝川にはデータロガーを設置し 1 時間おきに水位・水温・EC を記録し、御岳湖への河川水流入地点では ALEC を用い多点で鉛直方向の水質測定を行い、横断面図を作成している。採水したサンプルは研究室にて TOC、主要溶存成分の分析を行っている。

Ⅳ　結果・考察

1．1979 年噴火との比較

1979 年の御嶽山噴火から一月後の水質調査結果と、今回の噴火から一月後の我々の調査結果を比較すると、降灰地域がほとんど同じであることもあり非常に似通った水質組成の分布を示した。

2．噴火直後～冬季積雪期

火山噴出物の影響を強く受けた濁川と濁川合流後の王滝川では電気伝導度(EC)の値が次第に下がり pH は上がって、1 月末には安定した値を示した。一方、御岳湖やその下流では全循環により湖水全体に濁水の影響が広がるとともに、ダム放水のため EC が上がり pH が下がる現象が時間差で観測された。

3．融雪期

融雪の影響は 2 月から現れ、4 月末にピークに達した。基本的に EC が下がる希釈傾向を示し、pH も低下傾向で融雪水の低 pH が影響したと考えられる。

4．融雪期後～梅雨期

5 月末には融雪の影響がほとんどなくなり、6 月には梅雨の影響で改めて火山噴出物が流入して、EC が上昇するとともに pH が低下する地点があった。

5．夏期～秋期

台風の影響で堆積した火山灰が流出し、周辺河川の水質に再び影響を与えたが、10 月末には安定した。11 月には EC が全体的に上昇し、河川水の水質への地下水の性質の影響が観測された。

6．冬季積雪期～夏期(2 年目)

噴火後から 2 度目の冬季を迎えたが、積雪量が少なく融雪のピークは 2 月末であった。水質への影響は 1 度目の融雪期と同様、融雪による希釈傾向が表れていた。6 月には梅雨、夏期には台風の影響で特に濁川に火山噴出物の影響が表れた。

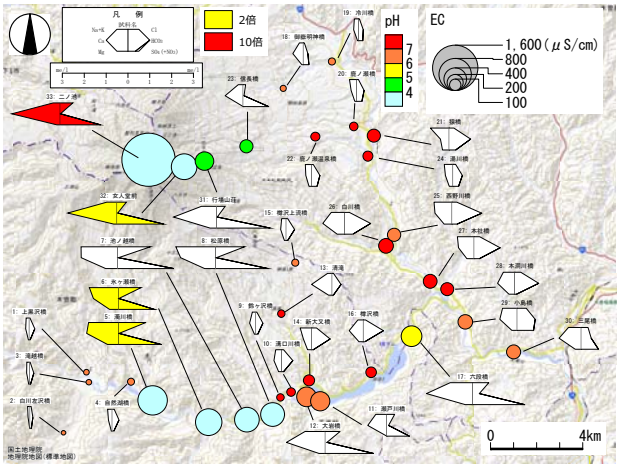


図 1　水質の空間分布(141031・141108)

Ⅴ　おわりに

この地域の基本的な季節変動についてはほぼ把握することができた。今後は流域ごとに水質形成要因の更なる解析を進めていく必要があると考えられる。

参 考 文 献

小寺浩二・浅見和希・齋藤圭・濱侃(2016)：御嶽山噴火(140927)後の周辺水環境に関する研究(4), 日本地理学会 2016 年度秋季学術大会講演要旨集.

2)

浅間山周辺の水環境に関する研究

*浅見和希[1)]・小寺浩二[2)]・猪狩彬寛[3)]・堀内雅生[3)]
1）法政大・院、2）法政大・地理学教室、3）法政大・学

Ⅰ　はじめに

日本の国土の 70%は山地で占められており、その中には火山も多く、その貯水能が水資源にとって重要であり、本邦でも重要な意義がある（山本 1970）。

当研究室では富士山周辺や伊豆諸島での研究を古くから継続しており、最近では 2014 年 9 月 27 日の噴火活動以前から調査を続けていた御嶽山を中心に活火山体周辺の水環境を研究している。浅間山でも 2015 年 6 月 16 日の小規模噴火を機に調査を開始し、水環境に対する噴火の影響も検討したが、その影響はほとんど見られていない。しかし、周辺の水質を把握し地域特性を明らかにして、水環境形成の要因を考察することも重要な意義があり、研究を行なっている。

Ⅱ　研究方法

第 1 回目の調査を 2015 年 6 月 20 日及び 25 日に行ない、以降 1 ヶ月おきに調査を実施している。ここでは 2016 年 9 月 24 日の第 16 回までの調査の結果をまとめる。調査地点は河川と降水採取地点と合わせて 48 地点である。現地では AT、WT、pH、RpH、EC を測定し、研究室に持ち帰った水のサンプルは、ろ過を済ませたのち溶存成分の分析を実施した。

Ⅲ　結果と考察

1．河川

西側から北側にかけては重炭酸カルシウム型の水質が分布し、水温・EC 値共に低い。東側から南側にかけての EC 値の大きい地点では、ナトリウムイオン、マグネシウムイオンなどの陽イオン、重炭酸イオンや硫酸イオンなどの陰イオンの比率が大きくなり、濃度も高く、特に南側は重炭酸イオンあるいは硫酸イオンの濃度が卓越し、pH・EC 値も高い傾向にある。

2．降水

鬼押し出し周辺の六里ヶ原および鬼押し出し園の降水は、周辺の降水と比べ pH が低く EC 値が大きくなる傾向がみられた。風向から降水に対して火山ガス等の影響が表れている可能性が示唆された。

3．季節変動

a) 2015 年 6 月

南麓の濁川は赤褐色の濁水が流れていた。pHの空間分布は浅間山の北西側と南東側とで1.0前後の差異があった。これに対応するようにEC値にも違いが見られた。周辺水環境への小規模噴火の影響はほとんど見られなかった。

b) 夏季～台風期

浅間山北側の地点では周囲に比べ特別水温が低い地点があった。近くの鬼押出し湧水群は夏季に異常な低温を示す湧水群があるとされ（鈴木 2007）、その湧水が流れ込んでいる可能性が高いと考えられる。

c) 冬季積雪期

積雪量は例年と比べると少なかったようである。河川水についてはECの値が上昇傾向を示し、地下水の性質が河川の水質に寄与している様子を観測できた。

d) 融雪期～梅雨期

融雪期に入ると、pH の低下および EC の低下が確認され、3 月に融雪のピークを迎えた。また梅雨には EC 値が低下し、降水による希釈効果が表れていた。

Ⅳ　おわりに

浅間山南斜面を流下する濁水や夏季に水温が異常に低い地点など、浅間山周辺河川の特色がつかめてきたと同時に、1 年間の水質の変動についてもある程度把握することができた。今後も調査を継続するとともに、より上流域の調査も行っていきたい。

参 考 文 献

鈴木秀和・田瀬則雄(2007)：浅間山北麓における湧水温の形成機構と地域特性，日本水文科学会誌
鈴木秀和・田瀬則雄(2010)：浅間火山の湧水の水質形成における火山ガスの影響と地下水流動特性－硫黄同位体比を用いた検討－，日本水文科学会誌

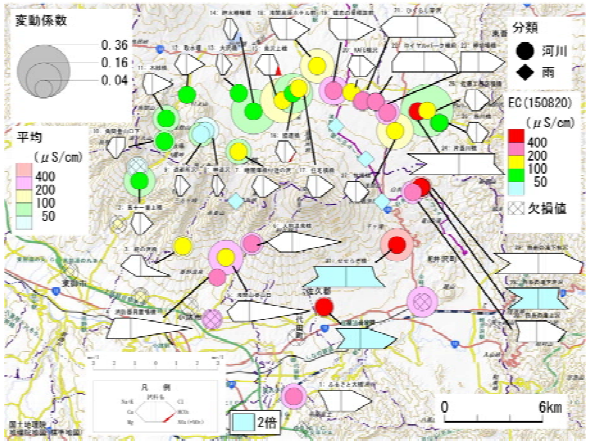


図1　水質の空間分布（150820）

3)

壱岐島・対馬の水環境に関する研究

*阿部日向子[1)]　・小寺浩二[2)]　・池上文香[3)]
1)法政大・学、2)法政大・地理学教室、3)名古屋大・院

Ⅰ　はじめに

日本には数多くの島嶼が存在し、その閉鎖的な環境のためそれぞれ独特の環境を呈する。今まで南西諸島や伊豆大島をはじめとする数多くの島嶼の水環境に関する研究が行われているが、五島列島・対馬・壱岐に関するものは比較的少ない。そこで該当地域の陸水・雨水などの水環境をそれぞれ明らかにした上で比較研究し、その課題を探ることを目的とする。

Ⅱ　対象地域

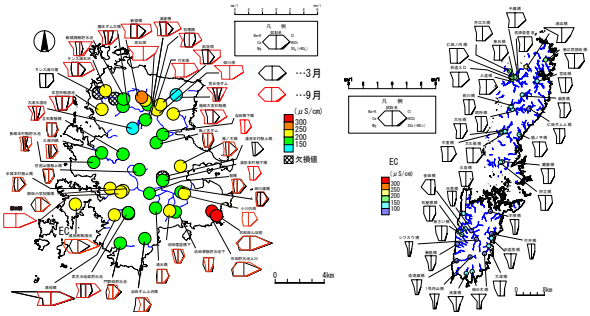
壱岐島は九州北部の玄界灘に位置する面積136.69km²の島である。なだらかな地形が特徴で島の各地に数多くの溜池が存在している。一方対馬は九州北部の玄界灘に位置する面積約 708 km²の島で壱岐島と比較して島全体の標高が高く、島土の約89%を山地が占める。地質は大部分が堆積岩で、表土も薄く岩石が露出する景観が見られる。

Ⅲ　研究方法

公開されている各島の公共用水域に関する過去の水質データを検証した後、2014～2016 年の春季と秋季に水文観測を行った。現地で気温、水温、EC、pH、RpH を測定し、サンプルを持ち帰り TOC の測定、イオンクロマトグラフィーによる主要溶存成分の解析を行った。雨水については毎月サンプルを採取し降水量、EC、pH、RpH、主要溶存成分の分析を行った。その他、GIS ソフトを用いて流域解析を行い水質と周辺環境の関係について検証した。

Ⅳ　結果・考察

壱岐島における陸水の全体的な特徴として Na-Cl 型の水質が少なく、多くの地点が Ca-HCO_3型を示すという点が挙げられる。これは壱岐島がなだらかな地形であるため風送塩の影響を受けにくいと考えられる他、島全体を構成している玄武岩質による寄与を受けていると推察される。特に南東部の地域では地下水の影響が強く表れている。また、土地利用・地質条件が類似している五島列島福江島の一部地域では硝酸が検出された(池上 2016)がこの壱岐島ではその傾向は見られなかった。これは五島列島と壱岐島の農業形態の違いや農地における水利用の違いが関与していると推察される。対馬における陸水については上島と下島で水質組成が異なり、下島は風送塩の影響が顕著であると言える。これは対馬の下島が特に急峻な地形であるためと考えられる。壱岐島における降水の水質特性について、壱岐島の降水は乾性降下物の寄与を受けているが、風向等との関係性については更なる考察を進めてゆく必要がある。



a) 壱岐島('15年3月•9月)　b) 対馬('16年4月)
図１ 各島の水質の空間分布（'15年・'16年）

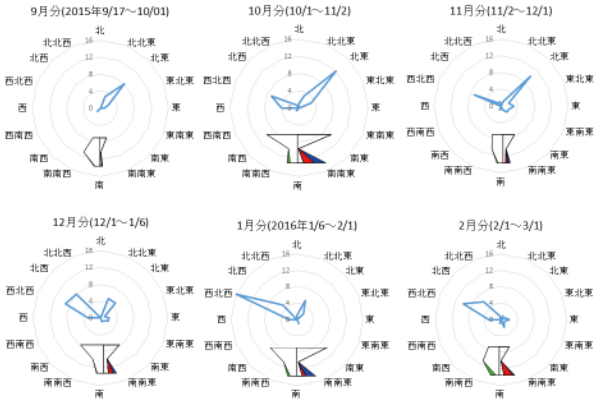


図２ 壱岐島(芦辺)における雨水の水質と風向き
(2015年９月～2016年２月)

Ⅴ　おわりに

各島の特徴をより明確にする他、陸水・雨水共に五島列島など他の島嶼と比較を行なう必要がある。

参 考 文 献

野原精一, 佐竹潔, 高瀬智洋, 黒川信(2009)：伊豆・小笠原諸島における陸水・沿岸水の栄養塩環境の特徴, 陸水学雑誌, 70, 225-238

池上文香, 小寺浩二(2016)：長崎県五島列島における流域環境と水質特性の関係.

4)

箱根山周辺の水環境-噴火(150629)後を中心に-

*堀内雅生[1)]・猪狩彬寛[1)]・小寺浩二[2)]・浅見和希[3)]
1）法政大・学、2）法政大・地理学教室、3）法政大・院

Ⅰ　はじめに

神奈川県南西部に位置する箱根山では 2015 年 6 月 29 日の昼、ごく小規模の水蒸気噴火が発生し、降灰や熱泥流などの火山噴出物が確認された。火山地域では火山噴出物が周辺の河川に影響を与えることが多く、中島ほか(1987)の研究では、阿蘇カルデラを水源とする白川流域において、降雨によって火山起源の物質が河川に流れ込むことによる水質汚濁が示されている。今回の噴火は小規模なものの、周辺水環境に影響を与えている可能性が考えられるため、当研究室では 2015 年 7 月 10 日より調査を継続している。

Ⅱ　研究方法

調査は毎月 1 回実施しており 2016 年 10 月の調査で 16 回目となる。河川・沢・雨を対象に 37 地点で AT,WT,pH,RpH,EC などの測定、採水を実施している。採水したサンプルは実験室にて TOC、主要溶存成分の分析を行なっている。

Ⅲ　結果と考察

1．概観

大涌谷から流れる大涌沢の水が白濁し、大涌沢合流後の早川も濁りがみられた。さらに流下するに従い、濁りが白色から黄緑色に変化している様子が確認できた。大涌沢・早川の濁りは長期的には薄くなっているが、降雨後に再び濃くなる現象が見受けられた。

2．pH

箱根では低 pH の河川が存在する。特に大涌沢では 2015 年 7 月調査時に 2.4 が観測された。長期的には上昇する傾向にあるが、15 年 12 月調査では値が再び下がり、降雨によってたまっていた火山噴出物が押し流されたことによるものと考えられる。須沢では上流の早雲橋において最低値で 3.1 がみられた。中流の餃子センター横橋では、値の変動が大きい。このほか湖尻橋や向山橋でも低い値となっている。

3．EC

高 EC の河川は大涌沢、須沢、そのほか向山橋などである。大涌沢では 15 年 7 月調査時に 6,780 μS/cm という高い値が観測された。長期的には値は低下する傾向にあるが、15 年 12 月調査では pH の低下に伴い値が上昇していた。須沢では早雲橋で 2,000 μS/cm が観測された。この地点は値の変動が大きい。

4．雨水

雨水は大涌谷に近い地点で低pH、高ECがみられている。このような地点は特に大涌谷の東側に多く分布している。これは大涌谷周辺の風向の影響だと考えられる。大涌谷直下の大涌沢上橋ではpH最低値が3.3、EC最高値で210μS/cmが観測された。

5．主要溶存成分

大涌沢では塩化物イオンと硫酸イオンが多く含まれている。早川では大涌沢合流後に主要溶存成分が変化していることが分かった。外輪山側から流れる河川では主に中間領域タイプを示した。

Ⅳ　おわりに

今後は溶存成分分析を進めていくことと、大涌谷周辺の風向などから雨水について考察をしていきたい。今後も河川に何らかの変化が生ずる可能性も考えられるので調査を継続していく。

参 考 文 献

中島重旗, 松並裕子, 小田泰史(1987)：多変量解析法による阿蘇火山流域河川の汚濁評価, 水質汚濁研究, 10(2), 105-114

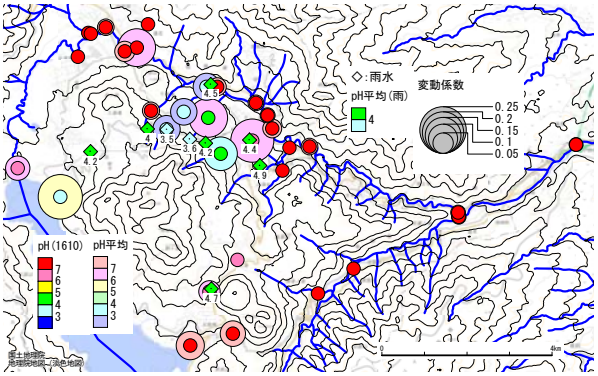


図1　pHの空間分布

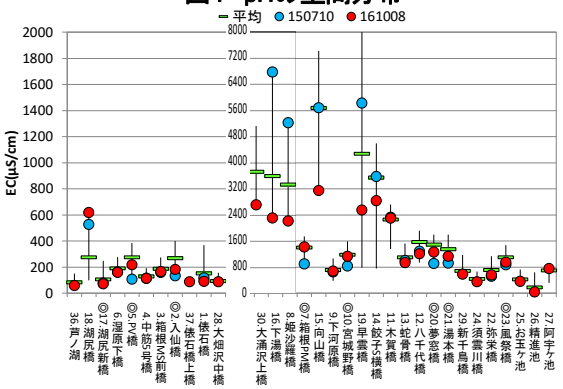


図2　ECの平均と変動

5)

硝酸の三酸素同位体組成を利用した河川水中の硝化・同化速度測定法開発

*池上文香，角皆潤，小幡祐介，安藤健太，中川書子(名大院・環境学)

1．はじめに

硝酸(NO_3^-)は、生態系の根幹である一次生産(光合成)に必須となる栄養塩の代表的なものである。水環境中の一次生産の制限要素となることも多く、その増減は生態系に対して大きな影響を及ぼす。特に、河川水中の硝酸の濃度は、系内や下流に位置する湖沼やダム、沿岸海域の一次生産や生態系構造を直接的に左右する可能性があるため、各河川水中の硝酸濃度が流域内のどのような過程でコントロールされているのか、知見を深めておく必要がある。しかし、大気からの沈着や、硝化による生成、同化や脱窒による除去など、多様な供給・除去過程を考慮せねばならず、各河川の硝酸濃度の制御因子を理解するのは容易ではない。

近年になって河川水などの水環境中の硝酸の窒素・酸素安定同位体組成($\delta^{15}N$、$\delta^{18}O$、$\Delta^{17}O$ 値)の高感度分析法が確立し、硝酸の起源が高確度・高精度で推定できるようになった。特に、同化や脱窒過程で値が変化しない三酸素同位体異常($\Delta^{17}O=\delta^{17}O-0.52\times\delta^{18}O$)は有用で、河川水中の硝酸についてこれを定量化することで、大気沈着由来の硝酸(大気硝酸・$NO_3^-{}_{atm}$)と、硝化によって生成する硝酸(再生硝酸・$NO_3^-{}_{re}$)の混合比が正確に定量出来るようになった。さらに、定量化した $NO_3^-{}_{atm}$ の混合比と全硝酸($NO_3^-{}_{total}$)濃度をもとに、$NO_3^-{}_{atm}$ の絶対濃度を求めることも出来るようになった。本研究では、こうして求めた $NO_3^-{}_{atm}$ の絶対濃度が、河川水中の硝化速度などの窒素循環速度の指標として利用できる可能性があると考えた(図 1)。そこで、琵琶湖の代表的な流入河川の 1 つである野洲(やす)川において、硝酸濃度と安定同位体組成の測定を行って検証したので、その結果を報告する。

2．対象地域の概要と方法

野洲川は琵琶湖の南東側に位置し、流域面積は約 387km^2、流長は約 62km で、琵琶湖の流入河川の中では最長である。河川水試料の採水は 15 地点(Y-1～15)の定点観測を 2014 年から 2016 年 10 月までの期間で計 7 回実施した。各試料の全硝酸濃度はイオンクロマトグラフで測定し、硝酸の安定同位体組成($\delta^{15}N$、$\delta^{18}O$、$\Delta^{17}O$ 値)は、Chemical Conversion 法を用いて NO_3^-を N_2O 化した後、連続フロー型の質量分析システムで定量した。また、2016 年 8 月時には、採取した試料に ^{15}N ラベルした NO_3^-を添加して現場水温で 24 時間培養間を行い、硝酸の取り込み率からその同化速度を求めた。

3．結果と計算

夏季(8 月)は下流域(最上流地点から 20km 以上)で $NO_3^-{}_{total}$ 濃度が約 40μmol/L から 0μmol/L 付近まで減少した。流下に伴って $NO_3^-{}_{atm}$ 濃度も減少していることから、夏季には同化または脱窒過程による硝酸の除去が下流域で活発なことが示唆された。同化の活発化は ^{15}N の取り込み率からも支持された。秋季(11 月)は、流下に伴って $NO_3^-{}_{total}$ 濃度は上昇する一方で、$NO_3^-{}_{atm}$ 濃度は減少した。これは、硝化と硝酸の除去(同化・脱窒)が同時進行していることが原因であると考えられる。

4．今後の展望

今後は、系外からの流入量を補正することで、硝化速度を求める。また、^{15}N を用いて求めた同化速度を元に、脱窒速度の測定法の開発や、窒素循環の定量に努める。

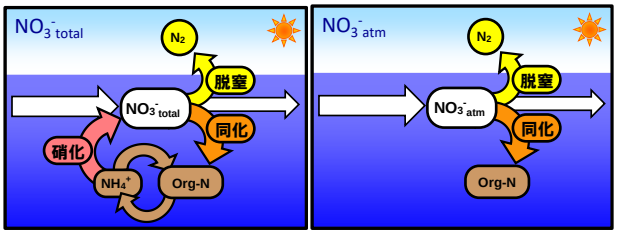


図 1．河川水中の窒素循環

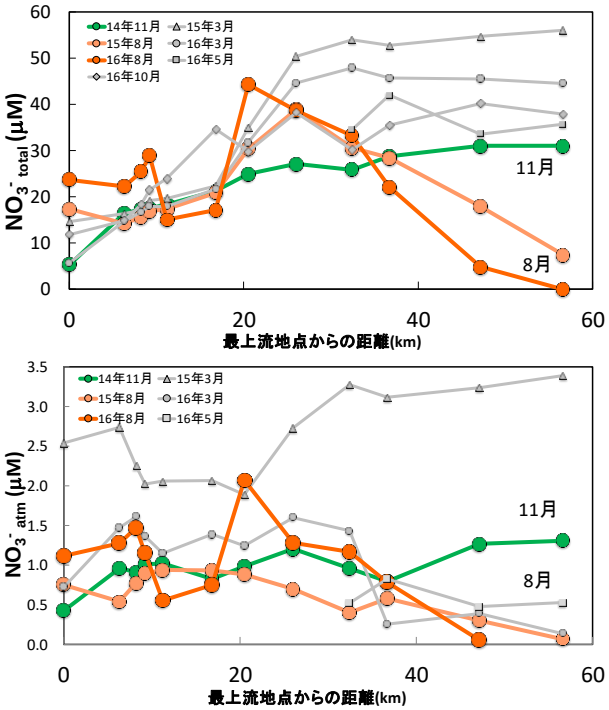


図 2．$NO_3^-{}_{total}$ 濃度(上)，$NO_3^-{}_{atm}$ 濃度(下)

6)

土壌の乾湿指標と河川流量

*築場大将（北大・環境科学院），石井吉之（北大・低温研）

１．はじめに

河川流出は土壌の乾湿状態に影響を受けるとされており、土壌が湿潤だと洪水や土砂災害が発生しやすい。土壌の乾湿状態を表す指標の例には、タンクモデルを用いた気象庁の土壌雨量指数がある。現在ではこれによって、全国各地の土砂災害に対する危険度をリアルタイムで知ることができる。

その一方で、これらの指標はパラメータが多いため、地域特性を反映した独自の基準を作ることは難しいという問題点がある。これに対して、中井（2009）は容易に地域特性を組み込める乾湿指標を提案した。

このような地域特性を考慮した簡単な乾湿指標の需要は、今年度の北海道への台風被害などを背景にさらに増していくと考えられる。しかし、土砂災害対策を目的とした乾湿指標の研究に比べて、最近では洪水に関する研究は少ない。そこで、本研究では新たな洪水対策用の乾湿指標の開発を目指す。

２．対象地域の概要と方法

研究対象地域は、北海道の母子里に位置する試験流域と観測露場(図 1)である。この流域は多雪寒冷な気候が特徴で、流域面積は約 1.2 km^2、表層は風化火山灰質土壌から成る（宍戸ほか、2005）。使用データは 2014～2016 年度の 3 年間の流量と雨量である。流量は図 1 に示されている流量堰、雨量は露場で取得した。

本研究では、3 年分の降水イベント（総雨量 20 mm 以上）を降雨特性に応じてグルーピングすることで「同じ降雨特性」と考え、異なる乾湿条件下における河川応答の傾向を検証した。この時、乾湿指標には観測が容易な初期流量を用い、河川応答はピーク流量と流出率に着目した。その後、得られた傾向を基に、降水条件を初期流量に組み込んだ新指標を考えた。

３．結果と考察

降水イベントは、総雨量・降雨強度・継続時間から、大きく 3 つのグループに分類することができた（図 2）。図 2 に示されている G1 は総雨量が約 25 mm で降雨強度が約 1.5 mm/h 程度の弱い雨のイベント、G2 は総雨量が 50 mm 前後で降雨強度が約 2.0 mm/h の大きなイベント、G3 は G1 と同程度の総雨量で、降雨強度が約 3.0 mm/h の強い雨のイベントとなった。

このグルーピングに基づいて河川応答を検証した結果、ピーク流量はどのグループでも湿潤であるほど増加傾向を示し、G1 と G3 は有意な比例関係を示した。そこで、初期流量に各降水イベントの最大降雨強度から導出した値を組み合わせることで新たな指標とした。すると、全グループでこの指標とピーク流量はより有意な相関を示すことができた。

同様に、流出率も同様に全てのグループで湿潤であるほど増加傾向を示し、G2 と G3 は有意な相関を示した。そこで、流出率に対しても新指標を用いると、相関をさらに増すことができた。

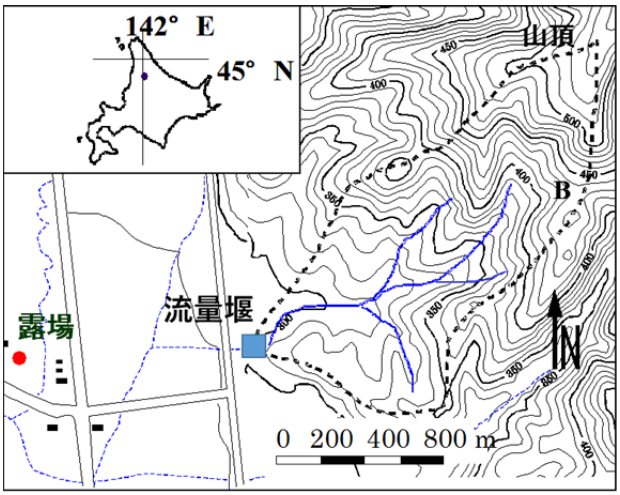


図 1. 母子里試験流域と観測露場

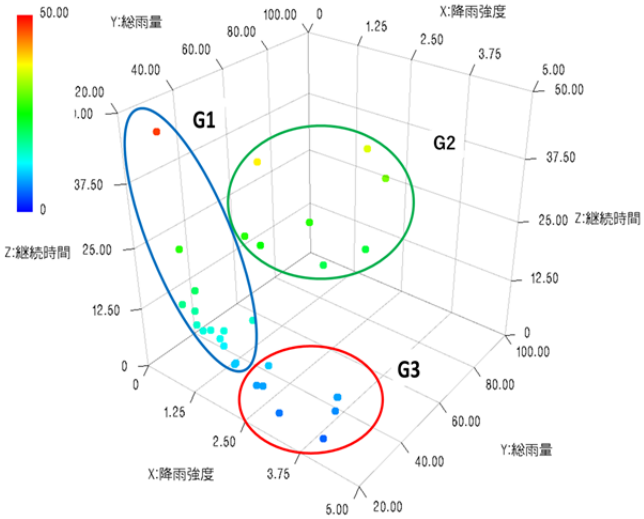


図 2. 降水イベントのグルーピング

4. 参考文献

中井真司（2009）地域ごとの降雨特性に着目した土砂移動現象の発生予測に関する研究：2008 年度広島大学大学院総合科学研究科博士論文

宍戸真也ほか（2005）降雨と融雪が重なったときの出水現象：北海道の農業気象、57, 15-28

7)

堆積コアから読み取る十勝海岸潟湖の変遷史と水循環

*前田紳吾，知北和久(北大・理)，阪田義隆（北大・工），西村裕一（北大・地震火山センター）

１．はじめに

北海道東部の十勝地方沿岸には、年に数回、外海と隔てる砂州の一部が決壊して湖水が流出する海跡湖群が存在する(図 1)。この沿岸の南東約 150 km には、海岸線にほぼ平行に千島海溝が存在し、これまで同海溝での地震を発生源とする津波が襲来している。今回対象の生花苗沼および湧洞沼周辺でも、多くの津波堆積物が確認されている。また、Chikita et al. (2012)では、砂州内にある津波堆積物（レキ層）を通して、沼水は外海へ被圧地下水流出すると考えられている。この研究では、生花苗沼および湧洞沼の砂州上掘削調査で得た堆積コアの解析に基づいて、津波堆積物が沼の水循環に与える役割および沼の環境変遷について考える。

２．方法

本研究では、2015 年 6 月に生花苗沼の砂州上 2 点(図 2 の SB-1 地点、SB-2 地点)、2016 年 7 月に生花苗沼および湧洞沼の砂州上 2 点(図 2 の SB-3 地点、図 3 の Y-1 地点)にて、掘削調査を行った。掘削調査中には各地点で一回ずつ、2015 年の 2 点ではスラッグ棒を用いた非定常法（SB-1 地点の 5.5～6.5 m 深と SB-2 地点の 5～6 m 深）、2016 年の 2 点ではポンプで揚水する定常法(SB-3 地点の 8.5～9 m 深と Y-1 地点の 7～7.5 m 深)による現場透水試験を行った。採取された堆積コアに対し層相解析を実施し、粒度組成・透水係数を調べた。粒度分析はふるいを用いた粒度分析、室内透水試験は変水位透水試験を行った。変水位透水試験を行うのが難しいレキ層についてはクレーガーの表から近似式を作成し(図 4)、その近似式に基づいて透水係数を推定した。また、2015 年の掘削コア中の有機物について、名大・北川教授に C^{14} 年代測定を依頼した。

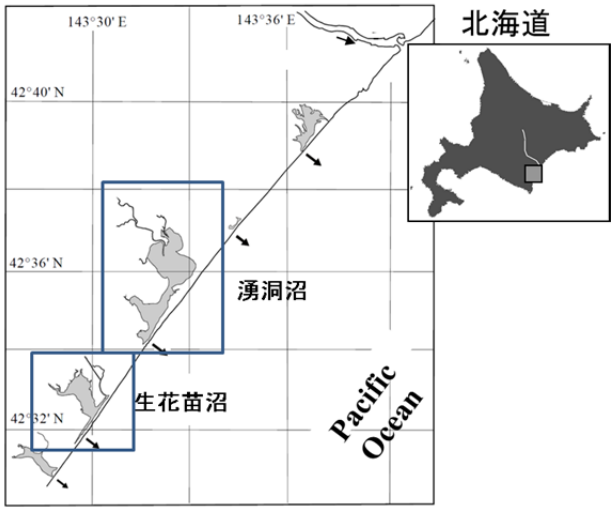


図 1　生花苗沼、湧洞沼の位置

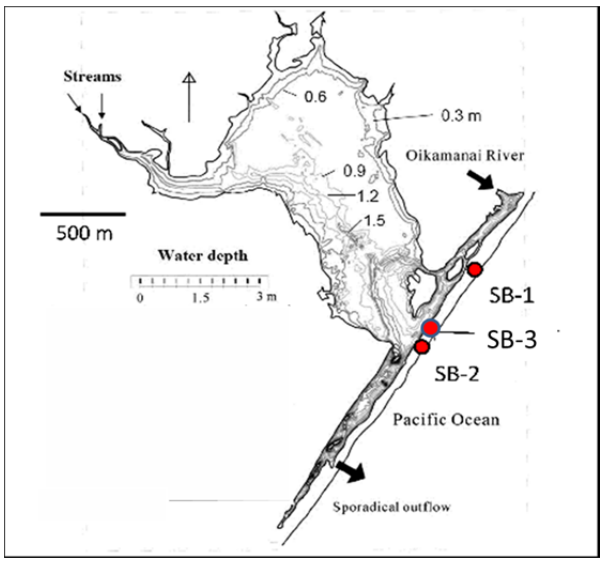


図 2 生花苗沼の掘削位置

図 3 湧洞沼の掘削位置

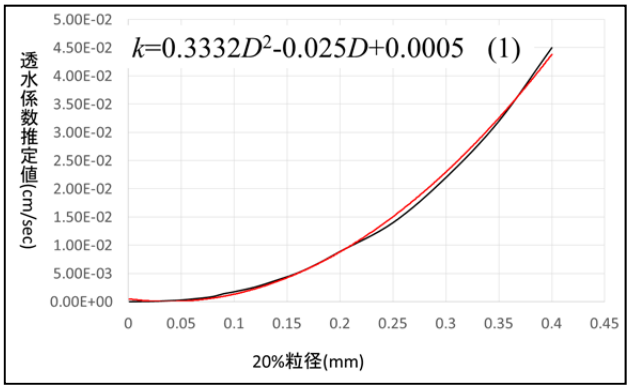


図 4　クレーガーの表から求めた近似式

掘削を行った 4 点のそれぞれで長さ 10 m 前後の堆積コアが得られた。七山ほか(2002)によると、陸上の津波堆積物は海から遠ざかるほど細粒化し、海から 100 m 地点では中レキとして発見されている。また、その堆積構造は逆級化構造であった。今回の堆積コアでは、直径 20 mm 以上の中レキを含む逆級化構造で堆積した層が SB-2 地点の 7.25 ～7.4 m 深に含まれていた。この層はその他の層と比べてレキサイズが格段に大きいため、何らかのイベントによって堆積した層であることは間違いない。また、Y-1 地点の 9.8～10 m 深でも同様のサイズのレキを含む層が含まれていたが、こちらは逆級化構造ではなかった。SB-3 地点の 8.9～9 m 深でもレキ層が含まれていたが、レキの大きさ、層厚は SB-2 地点のものよりも小さく、薄いものであった。また，SB-1 地点では，レキを含む層は確認できなかった。以上から、同じ湖の砂州の地下であってもイベント堆積物層が保存されている地点とそうでない地点があることがわかる。

現場透水試験ではレキ交じり砂層で 10^{-1} cm/sec オーダーの透水係数が求められた。また、室内試験と粒度分析結果から、SB-2 地点のイベント堆積物層は 10^{2} cm/sec、SB-3 地点と Y-1 地点のレキ層では 1 cm/sec オーダーの透水係数が計算された。砂州の大部分を構成する砂層の透水係数は 10^{-2} cm/sec オーダーであるため 2～4 桁の透水係数の開きがある。生花苗沼の被圧地下水流出は，この透水係数の差によってもたらされるものと考える。

４．沼の変遷史について

C^{14} 年代測定によって、SB-2 地点のイベント堆積物層は約 4800～5400 年前に、シルトを含む層は約 8000 年前に堆積した事が分かった。七山(2001)では、生花苗沼から東北東方向約 90 km に位置する春採湖で、同年代のイベント堆積物が確認されている。中尾(1990)によると、生花苗沼の誕生は約 6000 年前であるため、シルトを含む層は沼誕生前に、イベント堆積物層は沼誕生後に堆積したものであることがわかる。また、3～9 m 深の層はイベント堆積物が堆積したと考えられる 600 年の間に堆積し、2～3 m の層の堆積には約 4800 年前から約 200 年前までの約 4600 年かかったことも分かった。当時の海水位として、8000 年前は現在の海水位よりも低く、5000 年前は現在よりも高い。そして約 5000 年前を境に海水位は低下し、現在より低くなった後、1500 年ほど前に現在に近い位置へと変化している(図 5)。8000 年前は気候も温暖であったため、シルト質が堆積した当時は湿地化していたことが考えられる。その後、海水位の上昇に伴って SB-2 地点は海に近い位置、または海に沈んで砂レキが堆積し、海水位の低下と共に砂州が形成されたことが窺える。急速に堆積が進んだ 600 年の間に砂州が形成されたと考えると、イベント発生と砂州の形成時期が近いものであると考えられる。このことから、砂州の形成による急速な堆積によって、本来浸食されるイベント堆積物が保存されたと考えられる。4800 年前ごろに砂州が形成された後は海水位の低下に伴って、堆積は緩やかなものとなり、現在に至ったと推測される。

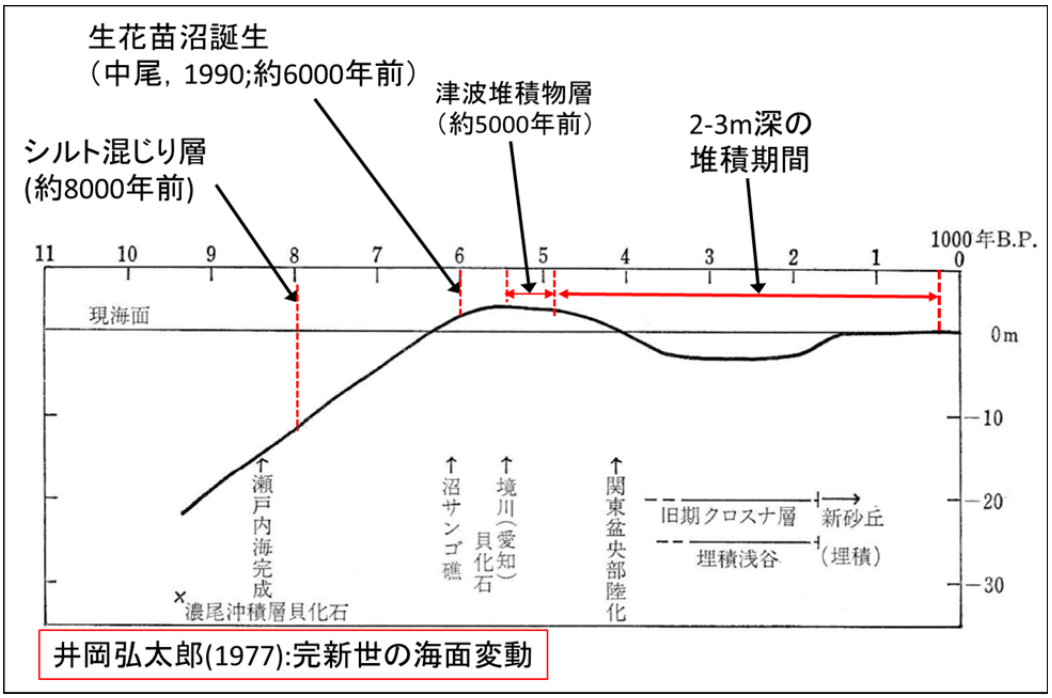


図 5 海水位変動と SB-2 地点の堆積年代

8)

UAV リモートセンシングによる夏季高温日における水稲群落の表面温度観測

*濱侃 (千葉大・院)，田中圭(日本地図センター)，近藤昭彦(千葉大・CEReS)

1. はじめに

モンスーンアジアにおいて，水田は典型的な土地被覆であり，地表面での水・熱収支を通じて水文学的・気象学的側面に影響を与える[1)]。

一方で，農業的側面を見ると，水稲はモンスーンアジアの基幹作物として，生産者や消費者の生活に直結する重要な食糧である。日本では近年，登熟期の高温により米の品質や玄米 1 粒重が低下する，いわゆる高温登熟障害が頻発しており，生産の現場では大きな問題となっている。実際，2010 年に日本全国で深刻な高温登熟障害に伴う被害が報告され，一等米の割合は全国平年で約 18%の減少し，稲作が盛んな北陸においては，約 40%も一等米が減少した。夏季最高気温の記録更新が続く現在，発生メカニズムの解明と対策技術の開発は喫緊の課題である[2)]。

高温登熟障害は，登熟初期に日平均気温が 27℃以上の高温な環境になると，乳白米など白未熟粒が発生することが報告されている[2)]。共著者の田中氏は，埼玉県で水稲栽培を実施しているが，登熟期初期が盛夏と重なるため，米の品質低下が問題となっている。そのため，今後の栽培において高温登熟障害に対応するためにも，まずは圃場内の温度環境を知る必要がある。

そこで，水稲の群落表面温度を面的に観測するため，Unmanned Aerial Vehicle（UAV）に赤外線サーモグラフィカメラ（以後，熱赤外カメラ）を搭載し，2 日間の連続観測を行った。

2. 対象地域・日時

本研究では，埼玉県坂戸市北部の水田を試験圃場とし，水稲群落の表面温度の観測を行った。観測日時は 8 月 6 日 10 時～7 日 12 時にかけて実施した。試験圃場の水稲の栽培品種は「コシヒカリ」で，観測を行った 2 日前の 8 月 4 日に出穂期を迎え，観測期間中は穂揃期にあたる。

3. 観測システム

観測に使用した UAV は F550 と Phantom2 の 2 機と 2 種類の撮影カメラを用意した。群落表面温度は熱赤外カメラ「Thermo Shot F30（日本アビオニクス社）」を用いて観測した。熱赤外カメラのシャッター機構やペイロードの関係から自律飛行が可能な F550 で 2 時間おき撮影を行った。また，このカメラは 160×120 ピクセルと画素数が小さいため，UAV とカメラのスペックを考慮した上で，対地高度を 100m（空間解像度は約 30 ㎝）に設定した。Phatom2 には，近赤外撮影用カメラ（BIZWORKS 社 Yubaflex）を装着し，マニュアル飛行により，対地高度 50m から 2 時間おきに空撮を行った。この画像をもとに正規化差植生指数（NDVI）を算出した。

4. 結果・考察

図 1 に，各観測時刻における水稲群落の表面温度と NDVI の相関を示す。なお，表面温度と NDVI は， 1m×1m 内のメッシュ内の平均値である。朝方の時間帯を除き，群落の表面温度と NDVI には負の相関があり，NDVI が高いほど，表面温度が低いことがわかる。

水稲は，出穂期およびそれ以降の葉色を高い状態で維持することにより高温障害の軽減に効果があることが報告されている[3)]。これは葉色が濃い稲は根の活力が高く，高温条件下においても同化産物の供給能力が高いことに加えて，高温条件下でも植生の活性が高いことにより蒸散が活発になることによる“クーラー効果”が関係しているとされる。今回の観測の結果にみられる NDVI が高い場所と圃場内での低温域の一致は，蒸散によるクーラー効果と考えられる。

5. 結論

UAV を用いた熱赤外観測は“面的な”表面温度の観測に有用で，近赤外カメラとの併用により，植生の活性度の違いによる表面温度の差を観測することができた。

Reference

1) 樋口篤志，近藤昭彦．1998．可視－近赤外ビデオカメラによる琵琶湖プロジェクト'96 での水田観測．水文・水資源学会誌, 11(4), 382-386.

2) 森田敏．2008．イネの高温登熟障害の克服に向けて．日本作物学会紀事, 77(1), 1-12.

3) 高橋渉 2004．気候温暖化条件下におけるコシヒカリの白未熟粒発生軽減技術．農及園 81, 1012－1018.

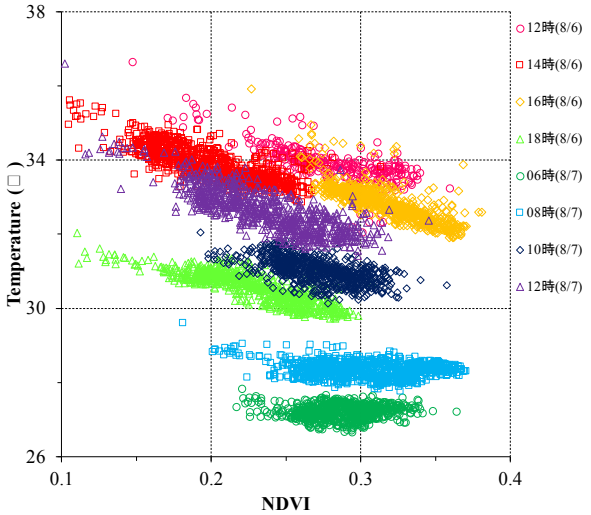


図 1．水稲の表面温度と NDVI

9)

火山性深湖の熱的応答

*知北和久，牧野　晶(北大・理)，大八木英夫(日大・文理)，支笏湖 水とチップの会

１．はじめに

今回は，北海道・倶多楽湖の貯熱量変化について，今後の気候変動からどのような影響を受ける可能性があるのかを詳細に検討する．本発表は，今年 10 月の水文科学会学術大会において発表した内容の続編である．なお，倶多楽湖は約 4 万年前の倶多楽火山噴火によって形成された陥没型カルデラ湖で，現在も湖西部の登別火山の活動は活発である（現在の噴火警戒レベルは 1）．

２．方法

2012 年 9 月から図 1 の MD 地点（最深点：水深 148 m）で 33 台の温度ロガーを係留し，その水温値から湖全体の貯熱量変化を求めている．なお，CTD プロファイラーによる湖内複数点(MD, K2～K7 地点)での水温垂直分布から，成層期でも水平方向の偏りは±0.5 ℃程度と小さい．このため，MD 地点での水温時系列は湖全体の熱構造を代表していると見なしている．ここでの熱収支式は，湖全体の 1 日間の貯熱量変化 ΔG(J/m^2)として，

$$\Delta G = \int_0^H \left[(\rho c \Delta T)\cdot A(z)\right] dz / A_0 \qquad (1)$$

$$= \sum_{t=86400s} \left(Q^* - Q_H - Q_E + Q_P + Q_{Rin} + Q_{Gin} - Q_{Gout}\right)$$

ただし，H: MD 地点水深, ρ, c: それぞれ水の密度・比熱, $A(z)$：水深 z での面積($A=A_0$ at z=0)，Q^*：正味放射量，Q_H, Q_E, Q_P それぞれ顕熱，潜熱，降水による熱流束，Q_{Rin}: 河川流入による熱流束，Q_{Gin}, Q_{Gout}: それぞれ地下水流入流出による熱流束.

(1)式左辺を水温ロガーの補正値で計算し，(1)式右辺を気象データ（図 1 の M 地点，登別アメダス，室蘭地方気象台），湖面温度，湖の水収支をもとに求めて両者を比較した.

３．結果と討論

観測期間 2012 年 9 月 2 日～2015 年 11 月 5 日について，貯熱量の変化 ΔG の積算値を図 3(上)に示す．(1)式左辺（青線）と右辺(赤線)は Nash 係数 0.834 の高い相関が認められる．このことから，気象，湖面水温，水位のデータから湖の貯熱量変化がある推測できることがわかる．この結果を踏まえて，登別アメダスと室蘭地方気象台での過去 40 年間の気候変動を求め，各気候因子+0.25 σ ～+1.5 σ (σ，40 年間の標準偏差)の変動に対する貯熱量変化の応答を調べた．　結果として，気温・日射・降水量の+σ 値は現在の貯熱量変化に対し，それぞれ 29 倍，10 倍，11 倍となり，気温に対する応答が最も顕著であった（図 3 下）．

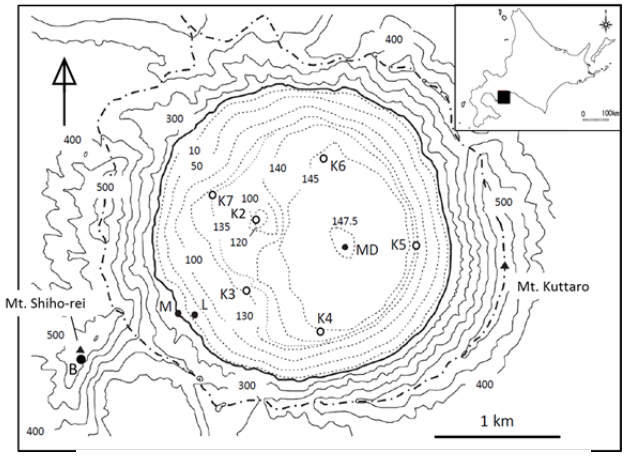


図 1. 倶多楽湖の湖盆図と観測点の位置

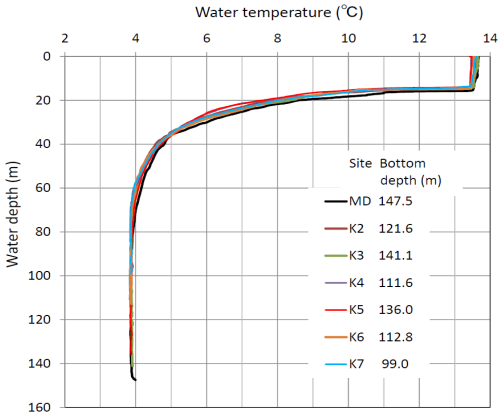


図 2. 各点の水温垂直分布(2014 年 10 月 24-25 日)

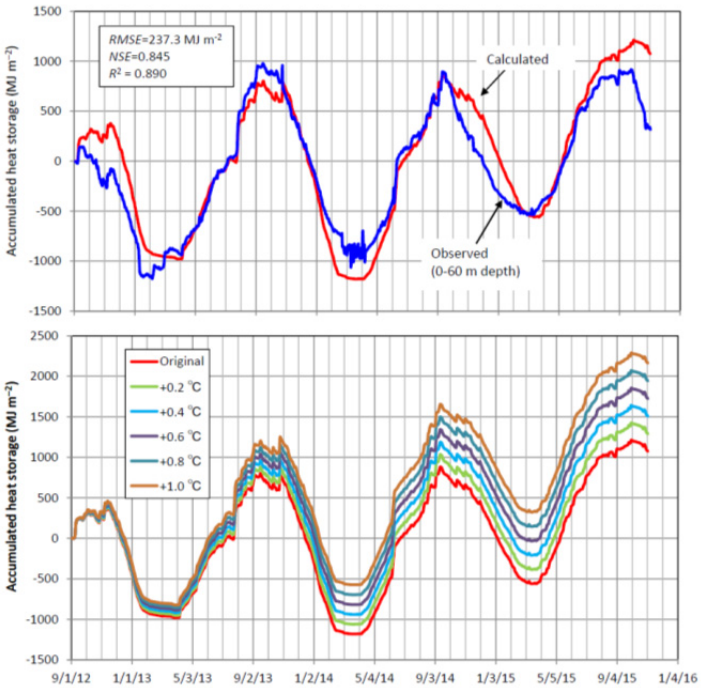


図 3. 貯熱量変化 ΔG の積算値.

10)

主成分分析を用いた大分市の温泉の分類

*柴田智郎（京都大・地球熱学研究施設），黒木龍介（京都大・総合生存学館）

１．はじめに

温泉の中には断層などの割れ目を通って湧出するものがある。別府湾周辺には多数の断層が発達しており、数多くの温泉がある。別府温泉は、断層と深く関係のあり、その活動は南にある朝見川断層と北の亀川断層の２つの断層に沿って発達している(Allis & Yusa, 1989)。一方、別府温泉の東部に位置する大分市では、自然に湧出している温泉は数少ないが、1960 年代後半から温泉開発が進み、平野部や丘陵地帯で数多くの温泉が確認されている。これまでの研究で、大分市内の温泉は比較的温度が高く、局所的に高温帯が存在し、鉛直方向に流動していることは報告されている（吉川・北岡，1984，北岡，1987，北岡・川野田，1991）。そこで、大分市内の温泉の化学組成と分布状況を調べた。

２．対象地域の概要と方法

大分市は九州東部の別府湾南側に位置し、主として標高 200m 以下の丘陵地帯と沖積平野の大分平野からなる。丘陵は大分川と大野川によって大きく３つに分かれ、西から永興台地、鶴崎台地、丹生台地である。永興台地は大分川左岸に位置し、西に向かって標高が高くなり、高崎山に続く。鶴崎台地は大分川と大野川に挟まれ、標高 165.3m の古城山を最高点とする台地上の丘陵である。丹生台地は大野川と丹生川との間にあり、標高は 100m 以下の丘陵である。それぞれの丘陵は比較的緩やかであるが、丘陵を構成する地層の大分層群が侵食に弱いため、谷は深く、谷壁は切り立っている（吉岡ほか，1997）。

大分平野は、大分川及び大野川の河口付近を中心に分布し、三角州及び後背湿地として形成されている。大分市の中心街は大分川の河口付近の沖積低地上に発達している（図１）。

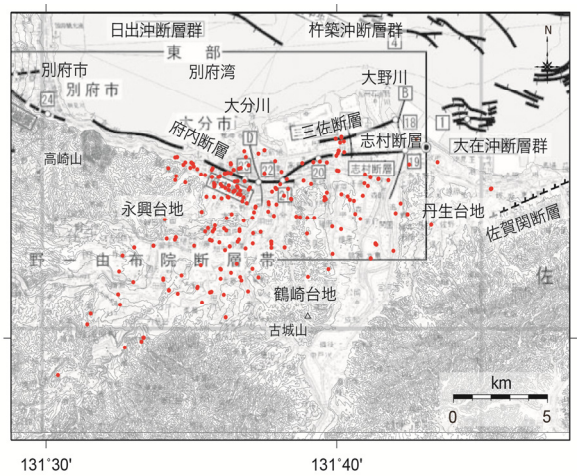


図１.大分平野の温泉と断層の位置図．点が温泉位置、実線が断層の位置を示す。

多変量解析の１つの手法である主成分分析法を用いて、大分市内の温泉の化学組成データを解析し、温泉を分類した。なお、本報告では大分県がまとめた大分県温泉情報データベース（大分県，2014）にある化学組成データを使用した。

３．結果と考察

温泉水の主要成分であるナトリウムイオン（Na^+）・カリウムイオン（K^+）・マグネシウムイオン（Mg^{2+}）・カルシウムイオン（Ca^{2+}）・塩化物イオン（Cl^-）・硫酸イオン（SO_4^{2-}）・炭酸水素イオン（HCO_3^-）の７成分を変数として主成分分析を行い、温泉水の化学組成を数個の特定の化学組成で表現し、大分市の温泉を５つのグループに分類した。

温泉には、堆積層などの地層に貯留する層状温泉と岩盤の中の構造や割れ目に貯留する裂か状温泉がある。層状温泉の分布は、貯留層となる地層の形状によって異なるが、一般的に水平方向に広がっているため、水平面内では等方的になる。一方、裂か状温泉の分布は、貯留している岩盤の構造や割れ目に支配されているため、割れ目に沿った方向性をもつ。つまり、層状温泉と裂か状温泉の分布は異なり、層状温泉は等方的に分布するが、裂か状温泉は異方性を示す。そこで、２源泉間の水平面内の角度を調べ、温泉の分布の異方性の有無から、温泉の貯留機構を推定する。

その結果、3 つのグループはすべての方向に一様に広がっており、残りの３つのグループは、佐賀関断層に平行の東北東-西南西方向と伏在断層である府内断層に平行の東南東-西北西方向が卓越していることが明らかになった。

参考文献

Allis & Yusa (1989) Geothermics, 18, 743-759.
吉川恭三・北岡豪一（1984）大分県温泉調査研究報告，**36**，1-12.
北岡豪一（1987）大分県温泉調査研究報告，**38**，7-22.
北岡豪一・川野田実夫（1991）大分県温泉調査研究報告，**42**，1-10.
大分県（2014）：大分県温泉情報データベース（CD-ROM）.
吉岡敏和ほか（1997）地域地質研究報告（5 万分の１地質図幅），地質調査所，65p.

地下水湧出の高精度計測について
沿岸生態系は窒素制限か？今後の窒素-リン研究に向けて

*小野寺真一（広島大），齋藤光代（岡山大），清水裕太(農研機構 西日本農研セ)
朱愛萍（中山大），金広哲（広島大），友澤裕介（広島大）

１．はじめに

沿岸地下水湧出（SGD）については、これまでシーページメータ法、^{222}Rn などのトレーサー法、ピエゾメータ法などによって精度よく評価されてきた（Taniguchi et al.2002；Burnett et al.2006 など）。その結果、SGD が沿岸栄養塩供給に重要な役割を果たすことが解明されてきたものの、沿岸生態系による SGD 由来栄養塩などの取り込み速度などを定量するためには、湧出後の沖合海水との混合や置き換わり速度（滞留時間）との関係など、より定量的な評価が必要となっている。

従来は、tidal prism（潮汐角柱）を仮定し、または海洋物理計算によって見積もられた周辺沖合の残差流を沿岸にも仮定するなどして、この置き換わり時間を概算してきた。すなわち、精度の高い評価には至らなかった。その結果、栄養塩の生態系への取り込み速度も淡水性 SGD 由来の栄養塩流出量も底質からの拡散量も十分評価できなかった。結果として、なぜ沿岸生態系は一般にリンが余り窒素制限環境なのか？など沿岸生態系と陸域窒素・リン循環との関係という大きな命題に迫ることはできず、大きな壁となっていた。

そこで、本発表では、SGD の高精度の見積もり及びそのための ^{222}Rn 収支の高精度化を目的とした。

２．対象地域の概要と方法

研究地域は広島県尾道市瀬戸田町である。これまでも SGD 研究や生態系との関係が調査されてきた。また、島を取り囲む沿岸における SGD の分布についても調査が行われ（Zhu et al2017WRR 投稿中）、Saito et al（2016）によってアマモ場との関係が調査されている。調査は、図１のような護岸に挟まれた港内を対象として、港湾出口に ADCP を設置し水収支を丁寧に正確に見積もり、トレーサーの収支を評価することで、明らかにした。

３．結果と討論

SGD の計測のための ^{222}Rn 収支（図 3(a)）を見積もることで、沖合水の入替り量の定量に成功した。シグナルとして、満潮時にそのプラスとマイナスのフラックスが劇的に変化する様子は興味深い。海水面が平均地下水面より上昇した場合の地下水-地表水相互作用と地下水面下の場合とでは、変化が異なることが確認された。また、総 SGD に占める淡水性 SGD の比率は 30%と高いことも明らかになった。

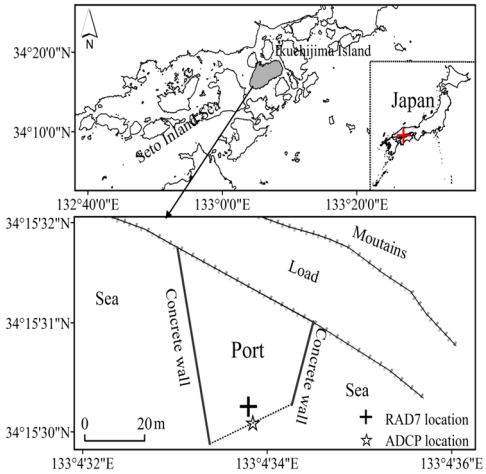


図 1. 研究地域（広島県尾道市瀬戸田町）・試験地

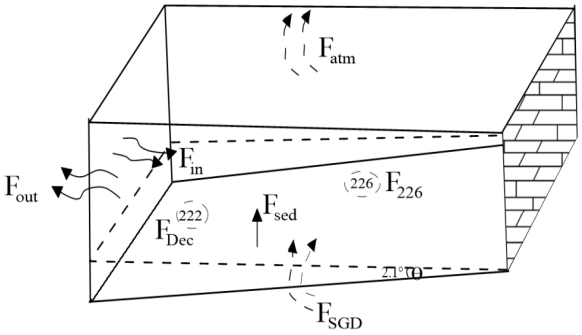


図 2. 物質収支計算の対象範囲

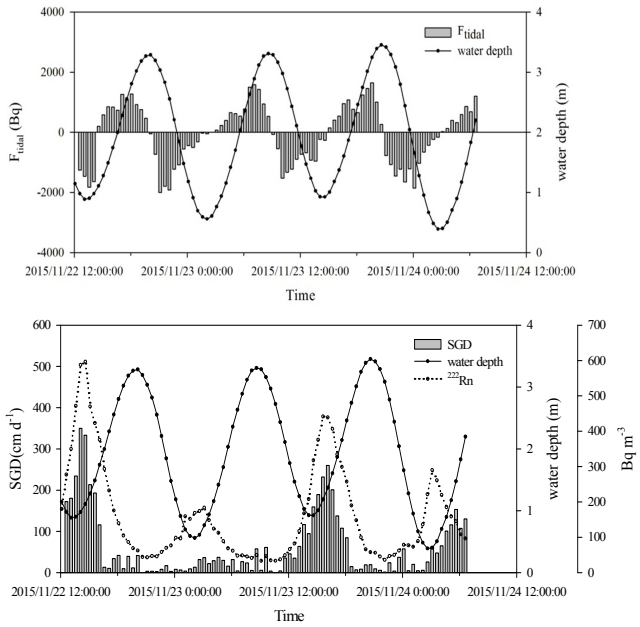


図 3. (a)ADCP 計測と ^{222}Rn 収支による沖合との水の入替り量、(b)SGD 変動

12)

北海道地方とその流域圏におけるヒト・自然系
－流域圏と環境容量からみた日本の未来可能性－

大西　文秀（ヒト自然系 GIS ラボ）

１．はじめに

日本の各地で、地球温暖化の影響と考えられる、異常気温や豪雨の発生、また河川の氾濫や、さらに食料生産への影響など災害が多発している。我国は北海道や東北、また九州地方などにより、食料需給や国土の自立性が大きく支えられているが、近年における 3 地方の被災状況は甚大である。

本年は、北海道の帯広市で陸水物理研究会が開催されるため、北海道地方とその流域圏におけるヒトと自然の関係を環境容量としてとらえ報告する。

ヒトと自然の関係という、目には見えにくい環境の構造域を、地理情報システム（GIS）を活用した可視化により情報発信し、日本の未来可能性を考え高めていきたい。

２．試算方法

ヒトと自然の関係を示す環境容量は、ヒトの活動の集積と、自然が持つ包容力の関係を測る指標として、分母にヒトの活動の集積、分子に自然の包容力を持つ割算としての概念を設定した。また我々の生活や生存と密接な関連を持つ、CO_2 固定容量、クーリング容量、生活容量、水資源容量、木材資源容量の 5 種類の指標を設定し、環境を総体としてとらえ包括的な理解を進め、その相互関係を探ることを目指した。これらの 5 指標により、地球温暖化、水資源、食糧資源、森林資源などの地球規模から、都市のヒートアイランド、人口問題、ゲリラ豪雨のような地域レベルの課題まで、低炭素・低リスク社会を推進するうえで重要視される現象に対応させた。

具体的には、CO_2 固定容量は、森林資源が持つ CO_2 固定量と人間活動による排出量の関係で、主に地球温暖化に関する指標。クーリング容量は、本来森林により覆われた地表面が有した冷却量と現在の地表面が持つ冷却量の関係で、主にヒートアイランド現象に関する指標。また生活容量は、生存に必要な都市や生産緑地面積から試算した自給可能人口と現人口の関係であり、食料自給や人口問題に関する指標。水資源容量は、降水の地中浸透量による潜在水資源量と水需要量との関係で、水資源や洪水災害問題に関係する指標。そして木材資源容量は、森林の成長量から試算した可能木材供給量と人間活動による木材需要量との関係を示すものである。

図 1、2 には、本試算で設定した環境容量の概念と 5 指標の試算方法の概要を示す。

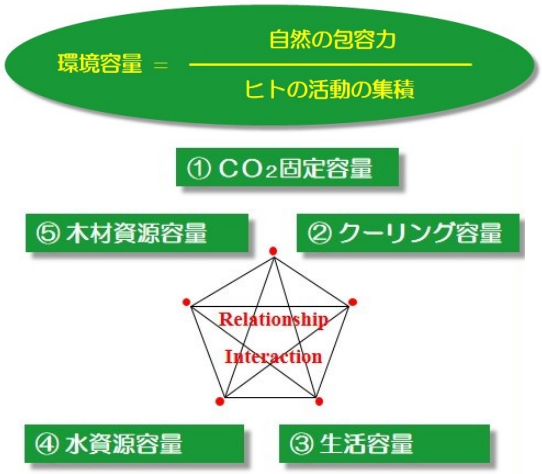


図 1.環境容量の概念と 5 指標の構成

図 2.環境容量の 5 指標の試算方法

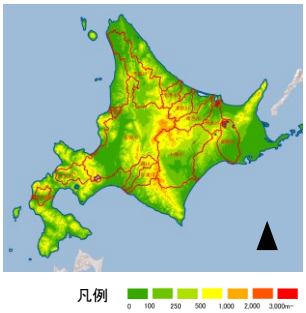


図 3.北海道の流域と地勢

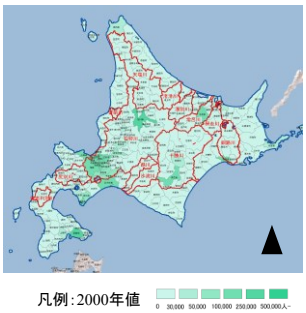


図 4.北海道の流域と都市

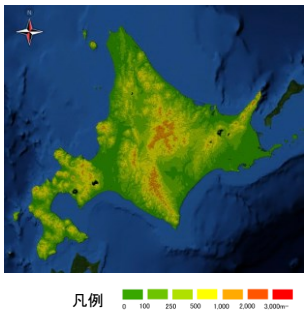


図 5.北海道の地勢

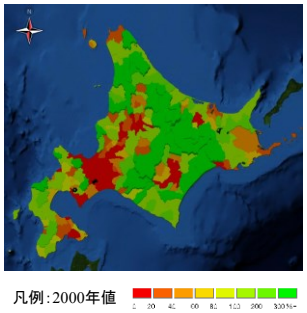


図 6.北海道の CO_2 固定容量

３．試算結果と課題

北海道地方の環境容量は、CO_2 固定容量が 38.5%(9 地方中 1 位)、生活容量が 243.7%(同 1 位)、水資源容量が 998.8%(同 1 位)、また十勝川流域では CO_2 固定容量が 84.1%(109 流域中 18 位)、生活容量が 559.6%(同 8 位)を示した。図 3～14 にはそれらの自治体区分 3D-GIS 解析図等を示す。また図 15～22 には、北海道の流域圏と、全国 9 地方の環境容量を抜粋してレーダーチャートに示す。北海道とその流域圏は総じて極めて高い容量を有している。

北海道地方の環境容量は、5 指標中の 4 指標が 9 地方中 1 位と高い。特に生活容量は現人口の 2.4 倍を養える容量を有している。しかしクーリング容量は 79.5%(9 地方中 6 位)と低く、耕地化や都市化による森林減少が要因と考えられ注意が必要である。

一方大都市圏の容量は極めて低く、単独では持続できず、支えてきた内外の地域や地方の余力も低下している。自立性の高い社会や生活への移行と国土の環境、資源、防災性の向上が急務と考えられる。

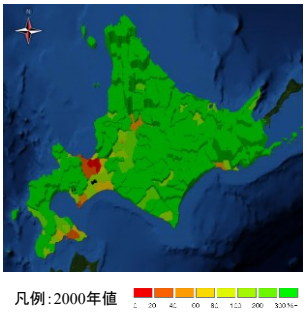


図 7.北海道の生活容量

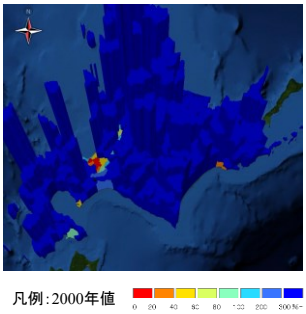


図 8.北海道の水資源容量

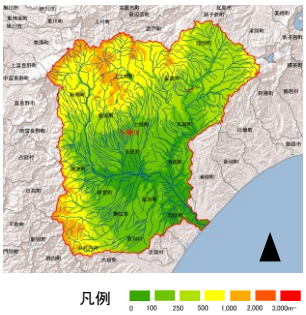


図 9.十勝川流域の水系

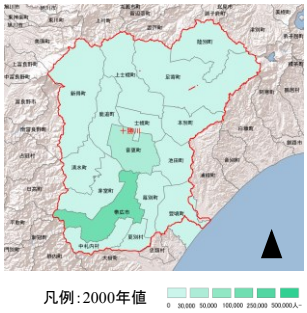


図 10.十勝川流域の都市

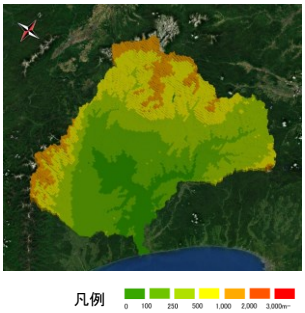


図 11.十勝川流域の地勢

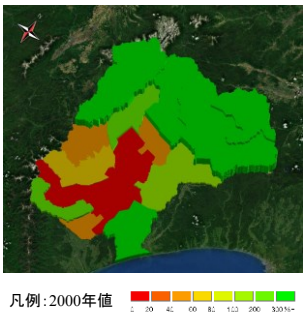


図 12.十勝川流域の CO_2 固定容量

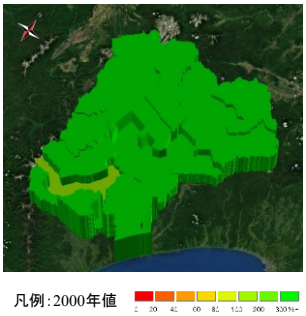


図 13.十勝川流域の生活容量

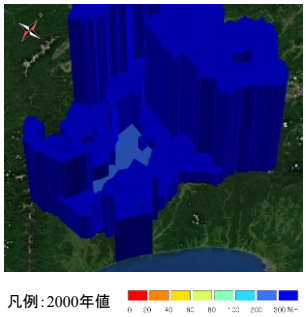


図 14.十勝川流域の水資源容量

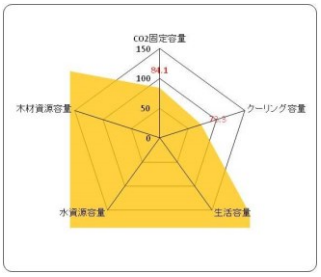


図 15.十勝川流域の環境容量

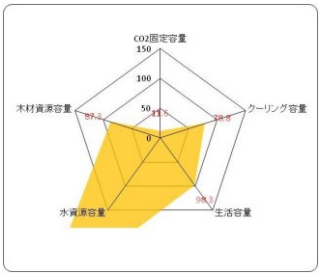


図 16.石狩川流域の環境容量

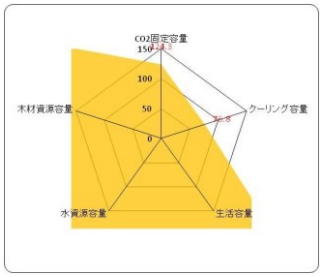


図 17.天塩川流域の環境容量

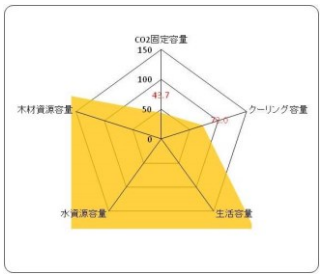


図 18.釧路川流域の環境容量

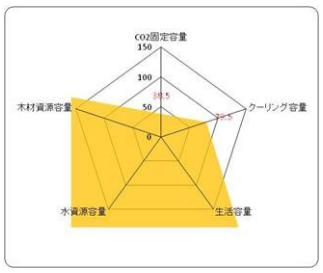


図 19.北海道地方の環境容量

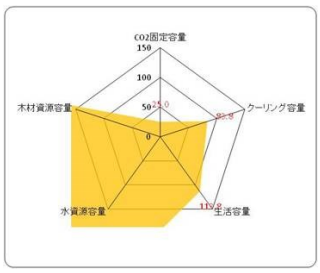


図 20.東北地方の環境容量

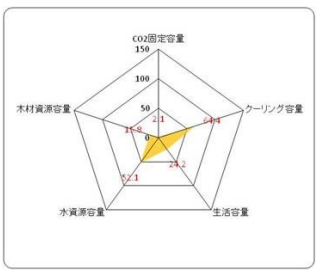


図 21.関東地方の環境容量

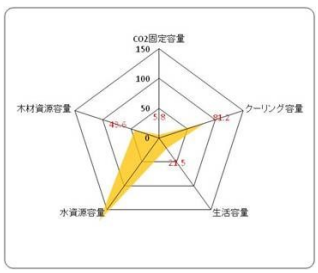


図 22.関西地方の環境容量

【参考引用文献】

1) 大西文秀(2013)『流域圏からみた日本の環境容量』, 222p, 大阪公立大学共同出版会.

2) 大西文秀(2011)『環境容量からみた日本の未来可能性』, 184p, 大阪公立大学共同出版会.

13)

岡山の地下水位とその地球潮汐に異変 ― 熊本地震の影響か？

*北岡豪一・西村敬一・山下栄次（岡山理科大学）

１．はじめに

岡山平野の北端に位置する山砂利層中に掘削された深さ 105 m の塩ビ管の井戸で，データロガによる水温と水位の連続観測を実施している。このたび，井戸の水位に 2016 年 4 月に発生した熊本地震の影響を思わせる変化が見られたので，現象論的な段階であるが，これまでの解析結果を報告する。

２．観測結果

図 1 に 1 時間ごとの井戸水位（海抜）の記録を示す。図に見られるように，4 月 14 日 21:36（M6.5）と 16 日 1:25（M7.3）に起こった熊本地震にほぼ同期して水位が約 25 cm 低下し，地震後は，水位の潮汐成分の振幅が地震前に比べて増大する傾向が見られる。この図には周期約 25 時間以下の成分をカットしたローパスフィルタ成分（LPF)も併せて示した。図 2 は原記録から LPF を引いたもので，降雨の影響と推定される変動もカットされ，潮汐成分のみが抽出されている。図からあきらかなように，地震後の潮汐成分の振幅が地震前より大きくなっている。図 3 に，同時期に井戸の近傍に働いた起潮力の理論値を示す。ここで，起潮力の計算には，重力測定における潮汐補正のプログラムを使用して鉛直成分のみを求めた（鉛直下向きを正にとり，単位は mgal である）。図 3 を図 2 と比較すると，地震後に見られる潮汐成分の増大を起潮力では説明できないことが分かる。

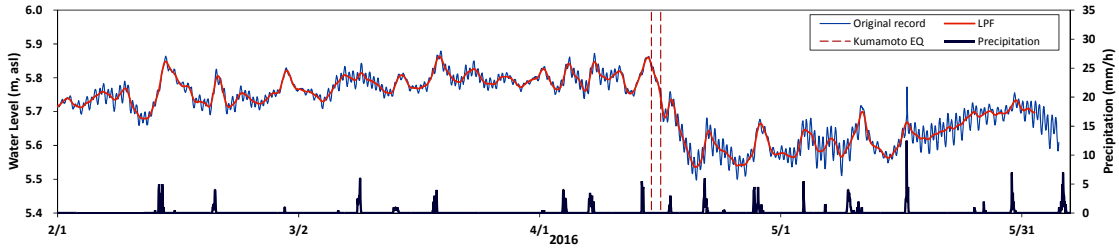


図１　地下水位の変動とそのローパス成分

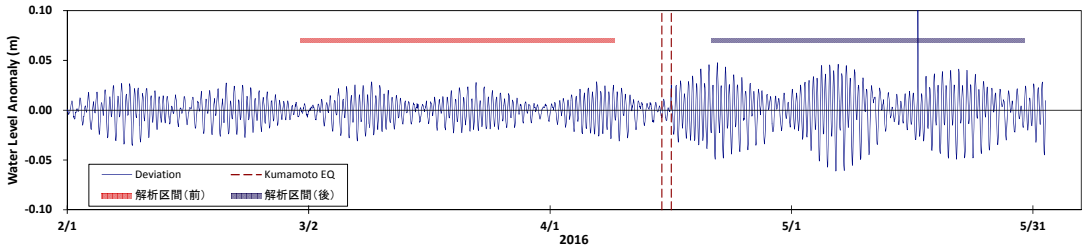


図２地下水位変動のハイパス成分

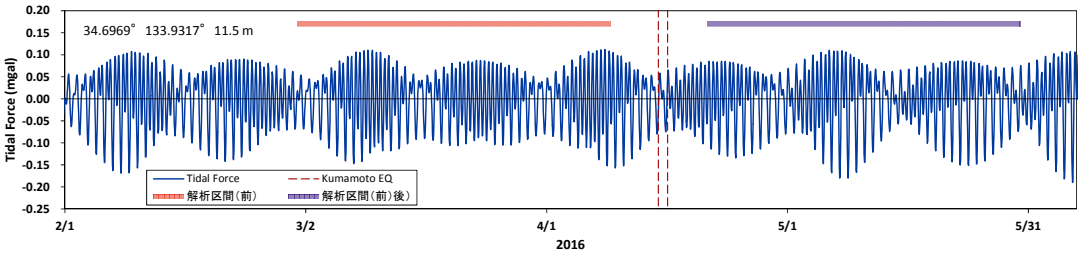


図３　同じ時期における井戸近傍の起潮力の変動

３．地球潮汐

図 2 が地球潮汐を表すものとして，その分潮を調和分析してみた。分潮として，宇野，高知，境の海洋潮汐（気象庁）において卓越する O1(周期 25.82 h)，K1(23.93 h)，N2(12.653 h)，M2(12.42 h)，及び S2(12.00 h)の 5 成分だけを選び，前震前と本震後のそれぞれ 5 日目から 40 日間について調和分析を試みたところ，かなりよいフィッティングを得ることができた（図 4）。起潮力についても同じ方法で調和分析を行い，地震の前と後における分潮ごとの起潮力の振幅に対する地下水位の振幅の比（m/mgal）と起潮力からの水位の位相のずれ（図 5），及びその図から地震前後の水位の振幅比と位相のずれ（図 6）を求めた。

図 5 と図 6 に見られるように，特異な K1 分潮を除くと，地震の後，分潮の振幅は 1.6～2.1 倍，位相は 6°～18°早くなっている。K1 の特異性についてはその理由は分からないが，地下水位は気圧変動にほぼ逆位相

（+180°）で応答するので，同じ方法で気圧の変動（気象庁）を調和分析すると，振幅は K1 分潮が最も大きく S2 がそれに次いでいる。したがって，地下水位変動の K1 分潮には気圧潮汐の影響が含まれている可能性が考えられ，それを除いて考察することにする。

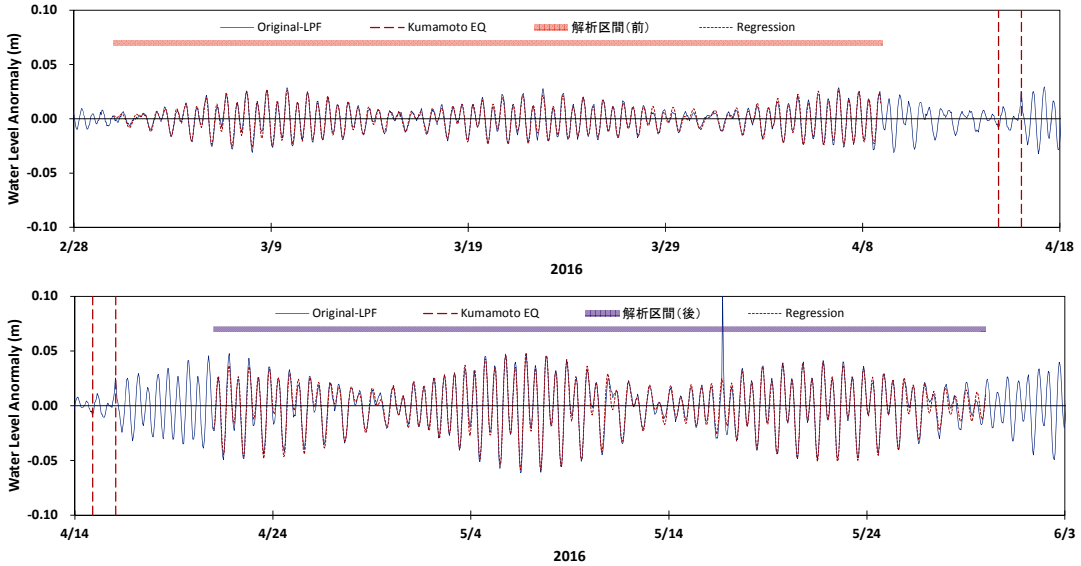


図４　地震の前（上図）と後（下図）の地下水位のフィッティング（縦軸スケールは同じ）

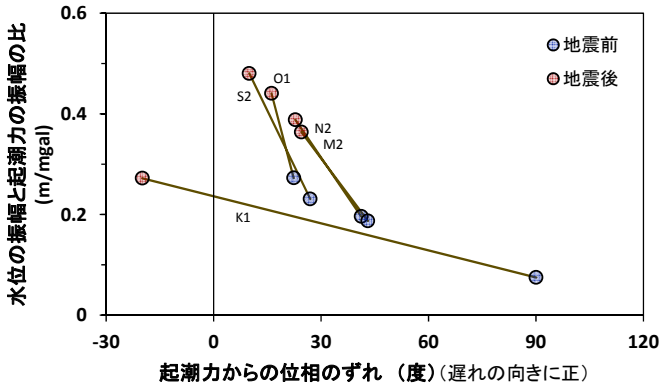


図５　（水位の振幅）／（起潮力の振幅）と起潮力からの位相のずれ

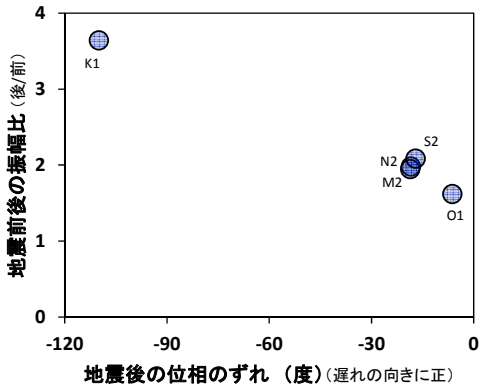


図６ 地震前後の水位の振幅比と位相のずれ

４．討論

熊本地震からの地震波が，震源域から 300 km 以上離れた井戸の水位に影響する理由を説明するのは容易ではないが，井戸が震源断層の走向のほぼ延長上に位置することから，大振幅の S 波が到達したことが関係するのではないかと考えられる。実際，井戸に近い岡山市中区役所に設置された強震計の記録には，変位の最大複振幅 4.8 cm，周期 8.9 秒の明瞭なラブ波が見られるので，これと同程度の大きさの地震動が井戸周辺の地層の水理特性を変化させた可能性が考えられる。

帯水層で圧力（水位）の周期的変動があるとそれに呼応して井戸に水が出入りする。その結果，井戸水位は周期的に変動する。地下水流動の式を支配するパラメータは拡散係数 $\kappa = T/S$ である（T ：透水量係数，S ：貯留係数）。周期的な圧力変動においては，1 次元では振幅は距離とともに指数関数的に減衰し，位相は距離とともに遅れる（その係数は $\sqrt{\omega/2\kappa}$ である。ω は角速度）。井戸の水位においては円筒座標でやらなければならないが（Hsieh, et al., 1987），定性的には，振幅の増大と位相の遅れが対応し，κ が大きいほど減衰は小さく，位相の遅れは小さいと考えられる。

このたび井戸水位の地球潮汐分潮に見られた地震後の振幅の増大と位相の早まりは，κ が増大したことを示唆する。すなわち，地震によって地層が揺すられた結果，地層の透水性が増したか，あるいは貯留性が減ったか，または両者がともに生じたのか，そのいずれかが起こったものと推定される。

参考文献

Hsieh, P., Bredehoeft, J.D. and Farr, J.M. (1987) Determination of aquifer transmissivity from earth tide analysis. W.R.R., 23, 1824-1832.

14)

高標高流域の谷底における降積雪深分布

*鈴木啓助・佐々木明彦（信州大学理学部）

1．はじめに

日本の年平均降水量は約1,700mmであり、世界の陸域における年平均降水量の約800mmの約2倍となっており、比較的水資源に恵まれていると言われている。しかしながら、国民1人あたりの水量換算では世界平均の 1/3 弱に過ぎない。また、暖候期の雨による降水は、わが国の急峻な地形のために、人工的なダム等の構造物なしには安定的な水資源として利用することが困難である。一方、山岳地域での寒候期の降水は雪としてもたらされるため、春先まで天然のダムとして水を貯留し続ける。冬季間に数メートルにも達する積雪が広域に観測される地域は、地球上でも稀である。そして、春になるとともに融け出して、降水量の少ない時期の田畑を潤し、生活用水や工業用水として下流の都市域で重要な役割を果たしている。

また、気候変動に伴う積雪量の変動は、長期的な視点では山岳地域の地形形成作用として影響するのみならず、短期的な変動でも豪雪に伴う雪崩災害や多量の融雪水による地滑り災害等も引き起こす。ここ数年でも雪氷災害により毎年 100 名以上の死者が報告されている。さらに、積雪は生物にとって低温に対する断熱効果や適度な水分補強の役割を果たすが、森林限界の形成には、気温変動よりも雪の量によって規定されることが最近明らかにされている。

以上のように、山岳地域における降積雪量が気候変動に伴い如何に応答するかは、水資源や地形形成作用、山地防災、さらには生物の生息環境の今後を考える上できわめて重要な要素のひとつである。

しかしながら、山岳地域の降積雪量の変動を定量的に検証しようにも、気象庁による積雪深観測地点の最高所は奥日光の1,292mであり、1,000m超の標高での積雪深の観測地点は5か所に過ぎない。近年の気温上昇によっても、雪か雨かの閾値気温よりは十分に低温である標高の高い山岳域では、連続的には積雪深が全く計測されていないのである。これまでの積雪深観測の空白域である山地の積雪深観測が、(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センターによって実施されるようになっているが、この観測も妙高笹ヶ峰の 1,310 m が標高の最高地点である。

そこで、我々は中部山岳地域の高標高地点で積雪深を含む気象観測を継続して実施している。ここでは、上高地梓川流域の谷底における降積雪深の分布について報告する。

2．研究方法

信州大学上高地ステーション（図1のMj）を2007年4月に設置した。上高地梓川流域は、特別名勝・特別天然記念物、国立公園特別保護地区、そして国有林であることから、本地域におけるすべての行為が文化庁、環境省、林野庁の許認可が不可欠である。Mj地点では2007年11月から、Yk、Tk、Zr、Tsの4地点では2013年11月から順次気象観測を開始した。

3．結果

上高地ステーション（Mj 地点）における積雪深の変動を図 2 に示す。また、上高地梓川地域の各地点における積雪深変動を図3に示す。

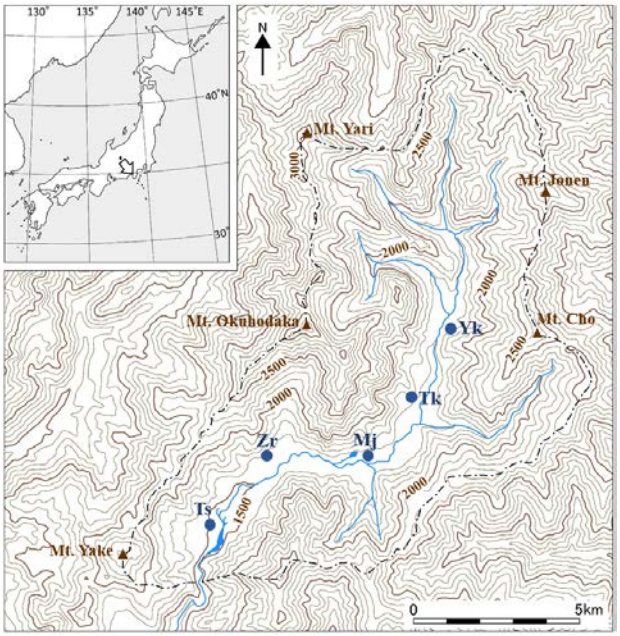


図1. 調査地点

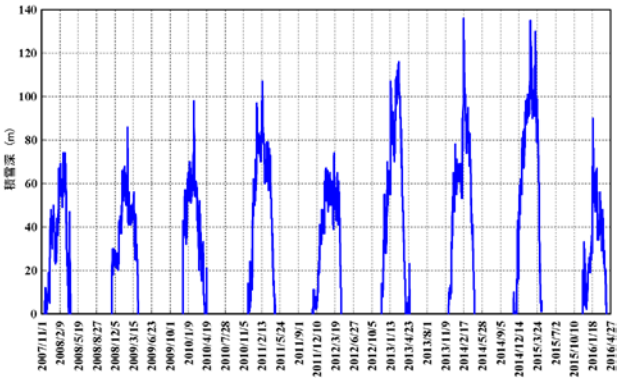


図2. 信州大学上高地ステーションにおける積雪深変動

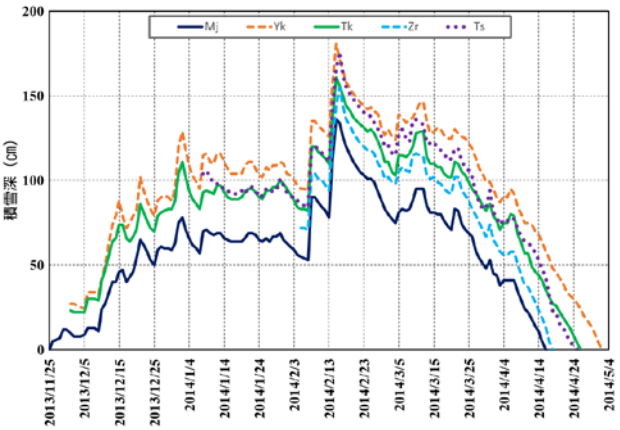


図3. 各地点における2013-14年冬季の積雪深変動

15)

水路内の流水量に相当する降水量受容区域の設定による小流域の水理量スケーリング

*山本　博（元農研機構），徳永英二（中央大）

１．はじめに

中規模流域での水路流水の水理量に対して流域面積でスケールするスケーリング則が Gupta and Mesa(2014)によって得られている．水理量を流域の面積でスケールした場合に，両者を両対数グラフで示すと直線関係が認められることから，スケーリング則はつぎのような式；

$$F = K_{A,F}\, A^{\phi_{A,F}} \qquad (1)$$

で表される．ここに，F：水理量変数，A：流域の面積，$K_{A,F}$：係数，$\phi_{A,F}$：指数.

演者らは，水理量を，指定した水路地点での水路内流水量に相当する降水量を受容する水路流出区域面積　でスケーリングした場合に，流域面積でスケールする場合と比べてより良好な関係を得ており，このスケーリング方法には地形量と水文量とを結びつける関係が存在することを報告する.

２．検討流域の概要

水流の水路頭近くに水路上の測点を多少とも含む調査結果に着目して，日本から 2 流域を，USA から 3 流域を選び出して，スケーリングモデルの検討を行った．これらのうち，モデルの開発には小規模流域である長野県浅間山麓藤沢上流域（FUB）における筆者らによる測定データ（山本ほか，準備中）を用いる．またモデルの適合性の検討には，これまでに測定された 4 つの流域における既往の水理量データを用いる．それらは USA から選択した３つの流域：Goodwin Creek experimental watershed (GCEW)（Ogden and Dawdy, 2003），Walnut Gulch experimental watershed (WGEW)（Goodrich, et al., 1997），Streams in central New Mexico (SCNW)（Leopold and Miller, 1956）と，日本からの１つの流域：豊川上流域(TUB)（宮沢，1990）である.

３．結果と考察

3.1. 小流域における水理量の空間変動

藤沢上流域（FUB）の谷頭凹地内に 2007 年 9 月と 1999 年 8 月に生じた２つの一時的な流水イベントを観測した．観測された水理量変数の流量Q，水路横断面積A_c，および流速v と流域面積A と両対数グラフを描くと，水路上流の水理量は式(1)の傾向より小さくなり両対数グラフで下方に折れ曲がる特徴を示した．2007 年 9 月イベントの例を Fig. 1 に示す.

3.2. 水路内流水量に相当する降水量を受容する水路流出区域面積を用いるスケーリング

この特徴は流域に供給された降水のすべてがその水路上に指定した地点の流水を形成しているのではなく，土壌水分の増加量，地下水流水量，および蒸発散量のようなその地点の水路流水とならない水量があり，そのような非水路流水量がこのような曲線性を示させていると考える．この非水路流水量に相当する降水量を受容する非水路流出区域面積で置き換えることができる．したがって，この非水路流水量に相当する降水量を受容する非水路流出区域面積をA_0 で表すと，水路内流水量に相当する降水量を受容する流出区域面積は，流域全体の面積A から，このA_0 の面積を差し引いた面積

$$A_s = A - A_0 \qquad (2)$$

で表せる．この水路内流水量に相当する降水量を受容する水路流出区域面積A_sで，水理量をスケールするスケーリング関係として

$$F = K'_{As,F}\, A_s^{\phi'_{As,F}} = K'_{As,F}\,(A - A_{0,F})^{\phi'_{As,F}} \qquad (3)$$

なる指数関数式を設定する．ここで，新たにスケーリング係数を$K'_{As,F}$，スケーリング指数を$\phi'_{As,F}$とし，ある特定の水理量変数Fに対する水路内の指定個所における非水路流出水量に相当する降水量の受容区域面積を$A_{0,F}$とする．測定データについて式(1)，および式(3)のスケーリング関係式を比較すると，2 つの流出イベントとも決定係数は式(3)の方が大きく，しきい値を有するスケーリングモデルの方がデータにより適合する.

3.3. 水理量測定データに対する適合性

米国と日本の数個所でこれまでに測定された水路水理量の結果に，この方法を適用してその適合性を検討したところ，すべてに良好な関係が得られる.

3.4. スケーリングとそのパラメータの地形学および水文学上の意味

それぞれの降雨-流出の現象に対してA_0 が一定のしきい値をもつことから，この新しいスケーリングモデルには，水理幾何式と流域を単位とする質量保存式を結びつけることにより，流域における地形量と水文量とを結びつける関係の存在が認められる．すなわち，しきい値A_0 は降雨強度に対する非水路流出を構成する水文要素の強度の比と流域面積との積からなる.

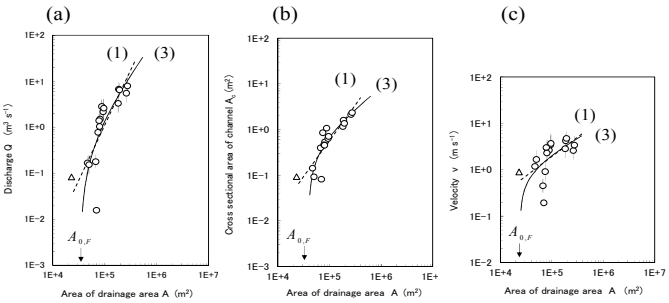


Fig. 1 (a) 流量Q，(b) 水路横断面積A_c，および(c) 流速v と流域面積A との関係．破線(1)は式(1)の，実線(3)は式(3)の関係を示す.

16)

自己相似網とホートン則：分岐系の考察

徳永英二（中央大）

演者による，2015 年 JGU 秋季大会での“Horton 式次数区分，自己相似木，そして等比数列”というタイトルの研究発表では，徳永自己相似（Tokunaga self-similarity（TSS））の概念を用いての研究対象が多岐に渡ることを紹介した．とり上げた対象があまりにも多く，内容が深められなかったことと，説明を主として数式に頼ったため短時間で理解を得るのが困難であったとの感が残った．今回は，対象を Horton の水路数の法則で表される事象に限定するとともに，説明を数値計算の結果を用いて行う．一般的には，TSS は，葉（1 次の水路）を剪定しても分岐構造が不変な木(水路網)と定義されている．$T_{i,i+k}$ を Horton-Strahler（HS）方式で枝が次数区分された木の $(i+k)$ 次の枝 1 本に流入する i 次の側枝の数とすると，TSS が成立する木では，枝数の法則は，$T_{i,i+k} = ac^{k-1}$ 与えられる．本研究では a および c に現実の水路網であり得る値をあてはめ，HS 方式および Horton オリジナル（H）方式の双方で次数区分を行い，6 次の木内での 1 次違いの分岐比の計算した．HS 方式で区分した場合，その値は低次になるに従ってある値に漸近する．H 方式で区分すると，$(c-a)=1$ の場合，6 次と 5 次の比を除いて，その値は一定となる．それ以外では，ある値に漸近する．ホートン則を満足する自然水路網は，$(c-a)=1$ を近似的に満足しているものと考えられる．

17)

不攪乱コア観察に基づく扇状地礫層の等価透水係数の異方性および深度依存性

*阪田義隆 (北大・工)，前田紳吾 (北大・院)，知北和久(北大・理)

１．はじめに

扇状地の地下水流動は，扇頂から扇端へ至る三次元流動場を形成し，その涵養源は降水（融雪）とともに扇状地河川からの失水が担う．水循環基本法の施行を背景に流域単位の水循環シミュレーションが試みられるが，未だ地表水も含めた水収支を満たす三次元地下水流動場を再現することは容易ではない．

本報告では，流域モデルのメッシュに与える等価透水係数について議論する．様々な地質単元の合成である等価透水係数を深度方向に異なる条件で発生させた不均質場での数値実験から計算し，その深度依存及び異方性について考察する．

２．研究方法

研究対象地域は，札幌市街地が広がる豊平川扇状地である．特殊サンプラーで採取した不攪乱礫質土コアに対し，粒度分析と基質充填度の観察を踏まえ，現場透水試験の結果を再現する異なる 3 つの充填度の透水係数モデルを構築した [1]．10m 四方の矩形に．3 つの充填度を Sequential Indicator Simulation (SISM) により発生させる．この際，粒度及び基質充填度の深度分布（図 1）から,①深度条件（z= 0-10m, 5-15m, 10-20m, 20-30m），②高充填部が等方か異方（揚水試験結果）か，③空間相関長の異方性比 a_h/a_v が 20 ないし 100 かの計 16 ケースにて各 100 個の不均質場を発生させる．水頭差 10m で流動計算を行い，ダルシー則に基づき水平方向・鉛直方向の等価透水係数 $K_{e(h)}$, $K_{e(v)}$をそれぞれ計算し，等価透水係数の深度依存と異方性について比較考察を行う．

３．結果と討論

図 3 は，深度に対する $K_{e(h)}$のプロット図である．幾何平均値 K_g 及び高充填部の透水係数 K_{HP} も併せて示す．図 3 より等価透水係数の指数減衰トレンドが認められ，粒度を変数とする高充填部と開口幅を変数とする低充填部の２つのトレンドの合成となる．図 4 は，深度に対する異方性比 $K_{e(h)}/K_{e(v)}$のプロット図である．等価透水係数の異方性比は高充填部が等方か異方かでその傾向は大きく異なり，等方性の場合には等価透水係数はほぼ等方である．一方，異方性の場合には $K_{e(h)}/K_{e(v)}$は深度依存が認められ，浅層部では小さく深度が深くなると高充填部の異方性に収束する．特に深度 10-20m では高充填部と低充填部が共存し大きな標準偏差が水みちの発生に繋がる．

４．まとめ

本報告では，扇状地礫層の等価透水係数の深度依存および異方性をコア分析と数値実験から明らかにした．等価透水係数の深度依存と異方性は，既往流域シミュレーションにおいても，水収支及び地下水位分布の双方を再現する必要条件となる [2]．

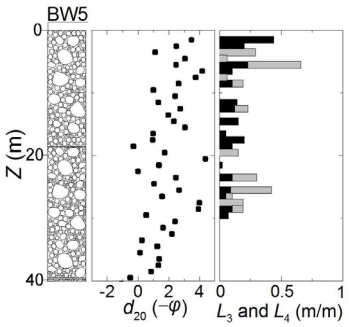


図 1. 不攪乱資料コアの粒度及び基質充填度の深度分布

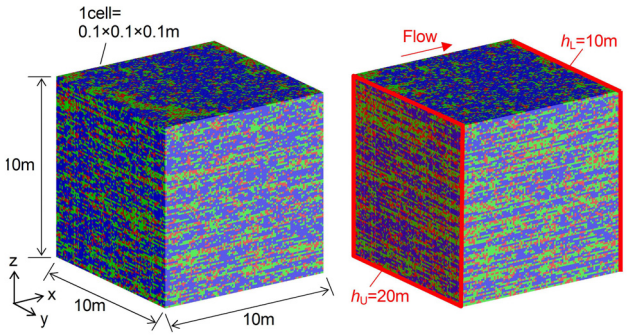


図 2．SISM での不均質性の再現と等価透水係数の推定

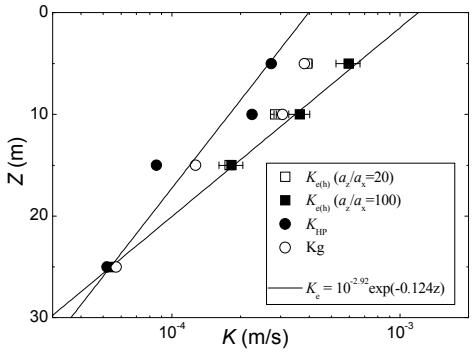


図 3．SISM での不均質性の再現と等価透水係数の推定

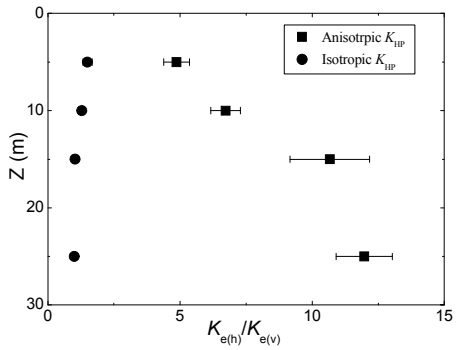


図 4．SISM での不均質性の再現と等価透水係数の推定

参考文献

1) Y. Sakata and R. Ikeda (2014) Depth dependence and exponential models of permeability in alluvial-fan gravel deposits. Hydrogeology. Jour., 21(4), 773-786.
2) Y. Sakata, G. Baran, T. Suzuki, K.A. Chikita (2015) Estimate of river seepage by conditioning downward groundwater flow in the Toyohira River alluvial fan, Japan. Hydrol. Sci. Jour., 61(7), 1280-1290.

陸水物理研究会報

©陸水物理研究会

第 38 回研究発表会（2016 帯広大会）

期　　日：　2016 年 11 月 12 日（土）～ 11 月 13 日（日）
会　　場：　とかちプラザ　4 階講習室 401 室
見学旅行：　広大な十勝平野の自然と開拓をたどるバス・ツアー
実行委員会：委員　知北 和久，石井 吉之

発　行：　2016 年 11 月 9 日
発行者：　陸水物理研究会
＜会　　長＞　北岡豪一
＜運営委員長＞　知北和久
＜運営　委員＞　池田隆司，石井吉之，井内国光，　浦野慎一，遠藤修一，大八木英夫，
小野寺真一，倉茂好匡，小寺浩二，鈴木啓助，諏訪浩，谷口智雅，
戸田孝，藤井智康

＜事 務 局＞　〒060-0810　札幌市北区北 10 条西 8 丁目
北海道大学大学院理学研究院 地球惑星科学部門
地球惑星ダイナミクス分野 陸水循環学研究室
Phone: 011-706-2764,
Mail: chikita@mail.sci.hokudai.ac.jp
URL: http://jsph.sub.jp/