

機関番号：82706

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20510031

研究課題名（和文） 気候変動下における永久凍土流域での融雪洪水

研究課題名（英文） Snowmelt floods in a permafrost watershed under Climate Change

研究代表者

鈴木 和良（SUZUKI KAZUYOSHI）

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主任研究員

研究者番号：90344308

研究成果の概要（和文）：

シベリアにおける凍土や雪氷の特徴に関して、既存研究成果の取りまとめを行った。その過程で、シベリアの積雪・凍土、ならびに湖水・河川氷の総説としてまとめ上げ、シュプリンガー出版より印刷中である。本研究で行った実験に関しては、凍結土壌の物理特性として、凍結土壌ならびに未凍結土壌と共に温度が高くなると同じ含水量でも通期係数が大きくなる傾向にあることが分かった。さらに、簡便な同化手法と領域気候モデルの出力を用いて、降水量などの環境因子と融雪流出の年々変動の関係を解析している。

研究成果の概要（英文）：

In regard to a characteristic of frozen ground, snow and ice in the Siberia, we reviewed previous research. As a result, I had written overview of Siberian snow and ice status for Encyclopedia of snow, ice glaciers of Springer Encyclopedia of Earth Science Series. According to experimental studies in this project, we found that when soil temperature became higher, with even the same soil water content and air permeability tended to become large. Furthermore, using the output of simple assimilation technique and the regional climate model, we are going to analyze the relation between precipitation and snowmelt runoff changes in year by year.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：気候変動、水循環、洪水、自然現象観測・予測

## 1. 研究開始当初の背景

Dartmouth Flood Observatory の大規模洪水の記録に基づき、永久凍土帯に位置するレナ川の大規模洪水の変化を調べた結果、過去10年、レナ川では、融雪洪水の期間が劇的に増加している。融雪洪水の期間が長くなる事に

よって周辺住民、生態系、地域経済への影響も拡大する。この様な近年の融雪洪水期間の増加の解明は、緊急を要する課題と考えられる。この主たる原因として河川氷と融雪水の凍結土壌への浸透度合いの影響が最も大切な要素として挙げられる。融雪洪水の変動メ

カニズムを理解することが当初の研究動機であった。

## 2. 研究の目的

北方河川で最も流出量が大きな融雪イベントに焦点を当て研究を行う。主たる目的は以下の通りである。

近年、レナ川で増加している大規模な融雪洪水のメカニズムを解明する。

上記の融雪洪水予測にとって重要となるプロセスであるが、現段階でモデルに十分反映されていない河川氷と凍結土壌への融雪水浸透の過程をモデル化し、これらの過程を流域水循環モデルに組み込む。高度化されたモデルを用いて、気候変動シナリオで想定される将来の気候条件が融雪流出にどんな影響を与えるのか評価する。

## 3. 研究の方法

本研究では、以下の2通りの手法を用いて研究を行った。

### (1) 凍土・水槽内淡水結氷実験

理想条件下におけるモデル・パラメータの関数化を目的として、凍結土壌と淡水結氷に関する実験を行った。

#### ① 凍土の通気特性

凍結土壌の透水性を調べるために、水を使用することは、水自体が凍結するため困難である。そこで、本研究では、水と同じ流体である空気を用いて凍土の物理特性を、通気性で評価することにした。実験では、豊浦砂を用いた凍結砂の通気係数測定実験を行った。粒径0.8-2.8mmの豊浦標準砂を100ccのステンレス製の円筒管(底面積20cm<sup>2</sup>×高さ5cm)に入れて試験体を作った。試験体の合計であった。各試験体の空隙率は、デジタル実容積計(DIK-1150)により測定され、全40個体の平均と標準偏差は、47.1cm<sup>3</sup>と1.1cm<sup>3</sup>であった。その砂に10cm<sup>3</sup>ずつの水を、0cm<sup>3</sup>、10cm<sup>3</sup>、20cm<sup>3</sup>、30cm<sup>3</sup>、40cm<sup>3</sup>の5種類加えて、飽和度の異なる試験体を、それぞれ8個体ずつ作成した。その後、飽和度の異なる試験体20個体について-5℃で24時間冷やして凍結させた。残りの20個体については常温の室内においた。これにより、凍結した試験体と未凍結の試験体を、それぞれ同じ飽和度で4個ずつ作った。その試験体に対して、低温室内の温度を-5℃、-2.5℃、0℃、ならびに2.5℃と変化させ、土壌通気性測定器(DIK-5001)によって通気係数を測定した。なお、未凍結の試験体は、氷点下以下の室温で凍結しないように、常温の室内に実験直前まで試験体を置いておき、実験時のみ試験体

を低温室内に入れた。一方、凍結した試験体に関しては、試験体が室温になじむように、実験を始める2時間以上前に室内に入れておいた。

#### ② 淡水結氷

水槽(幅790mm、奥幅600mm、高さ790mm)で淡水(水深400mm)結氷と融解実験を行った。実験室内の温度を-30℃に設定して、実験を開始し、降雪(タイプA)装置を用いて氷の上に人工的に積雪層を加え、結氷過程について実験した。その後、室内温度を-30℃から5℃へ変更し、500W/m<sup>2</sup>の日射を加えて、融解過程に関する実験を行った。

#### (2) 融雪流出解析

シベリア永久凍土域に位置するレナ川での融雪流出に関して、既存データならびにモデル・シミュレーションを活用することで、その年々変動の解析を行った。

##### ① 既存データ

1980年~2000年までの気象・陸面データとして、Global Land Data Assimilation (Rodell et al., 2004)のデータセットを利用した。さらに、同期間の河川流出データとして、Arctic-RIMS ver 4.0のデータを用いた。

##### ② モデル・シミュレーション

###### a. ダウンスケーリングによる流出予測

ダウンスケーリングのために、地域気候モデル(Advanced Research Weather Research and Forecast (WRF) model, WRF-ARW, Klemp et al., 2008)を用いた。WRFモデルの境界条件並びに初期値としては、NCEPによる再解析データ(Kalnay et al., 1996)を使用した。WRFモデルは、これまで、多くの研究者が中規模の大気現象のシミュレーションに利用し、世界中で検証・利用されている。また、モデル・シミュレーションのために、容易に並列計算可能なオプションが利用できる利点がある。WRFによってダウンスケールされた気象条件を入力要素として、Ma et al. (2005)の流出モデルで流出予測を行った。さらに、ダウンスケールした気象条件を、1980年~2000年までの期間、地点気象観測データ(BMDS ver. 4, Suzuki R. et al., 2005)を用いて、その妥当性を検証した。

###### b. 冬季降水量

流出変動にとって、降水量が重要な因子である。しかしながら、冬季降水量の観測データには大きな誤差が含まれ、流出変動との整合性を不確かなものとしている。そこで、観測データに基づく冬季降水量と融雪流出変動の関係について検討するため、上記と平行して、簡便なデータ同化手法を用いた流出変動シミュレーションを行った。観測データと

して、地点気象データ (BMDS ver. 4, Suzuki R. et al., 2005) と国立極地研究所によって得られた 1999 年、2000 年 3 月の積雪観測データを用いた。簡便なデータ同化手法は、Micromet (Liston and Elder, 2006a と SnowAssim (Liston and Hiemstra, 2008) によった。さらに、上記で得られた冬季降水量と各種既存データとの比較を行い、流出予測モデル VIC によって融雪流出を計算した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 既存研究のレビュー

シベリアにおける凍土や雪氷の特徴に関して、既存研究成果の取りまとめを行った。

その過程で、シベリアの積雪・凍土、ならびに湖氷・河川氷の総説としてまとめ上げ、シュプリンガー出版より印刷中である。

##### (2) 実験研究

###### ① 凍土の通気性

図 1 は、異なる温度条件下での通気係数と試験体の飽和度との関係を示している。

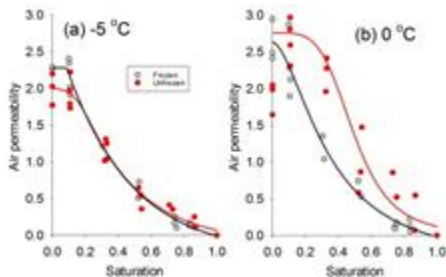


図 1 通気係数と飽和度の関係

(a) 温度 -5°C、(b) 温度 0°C

黒：凍結状態、赤：未凍結状態

-5°Cでは、未凍結固体と凍結固体に大きな差は生じていない。しかしながら、0°Cの条件下では、未凍結固体の通気係数は、飽和度 0.4 で急激に減少したのに対し、凍結固体では-5°Cの条件と同じように含水が増えるに従い、徐々に減少していった。どちらの凍結固体ならびに未凍結固体と共に温度が高くなると同じ含水量でも通気係数が大きくなる傾向になる。これは、0°C以下での不透水の存在を暗示し、その比率が通気係数の決定に重要な役割を果たすことを示唆する。

###### ② 淡水の結氷・融解過程

結氷について、氷の上に積雪が存在することで結氷速度が遅くなることが示され、さらに融解過程に於いては、融解もまた遅らせることが明らかになった。河川結氷に関しては、気温が低いことで、氷の厚さは厚くなるが、同様に冬季の降水（降雪）の大きが大きく、結氷河川に影響することが明らかになった。結氷河川モデル化には、積雪モデルと結合が必要であることを示唆する。

#### (3) データ解析・シミュレーション

##### ① 既存データ解析

レナ川流出量データを 5 月～6 月の融雪流出に当たる期間を、融雪流出と定義し、流出量変動と、Global Land Data Assimilation の陸面プロダクトのパラメータを比較することで、融雪流出変動にとって重要な因子を解析した。図 2 は、Snowmelt runoff ratio (流域へのインプットに対する 5-6 月の融雪流出量の比) と前年秋の土壌水分量を、1980 年～2000 年の期間で比較したものである。

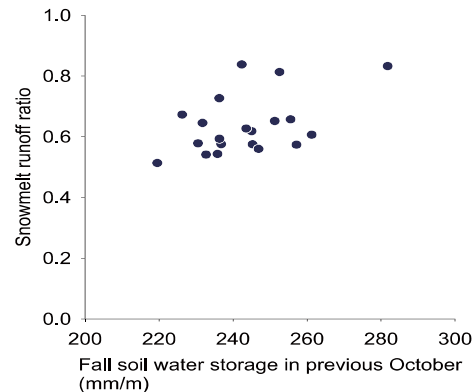


図 2 融雪流出率(Snowmelt runoff ratio) と前年秋の凍結前土壌水分の関係

両者には、弱い正の相関が見られる。同様に、Snowmelt runoff ratio と積雪水量との相関を見てみたが、その場合、無相関となった。前年秋の土壌水分と翌年の融雪流出量の相関が存在することは、本研究で指摘していた凍結土壌への融雪水浸透の重要性を示すものである。

##### ② 冬季降水量の再評価

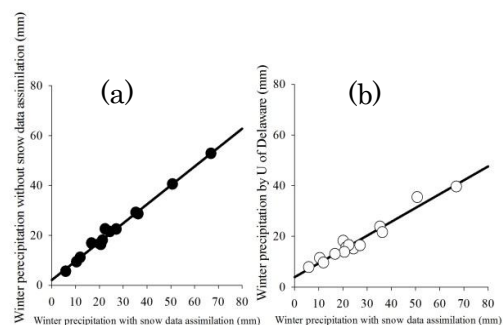


図 3 (a)Micromet による空間内挿による降水量と積雪データ同化を行った降水量の関係、(b)デラウェア大学の降水量データと積雪データ同化を行った降水量の関係

図 3 は、積雪データを同化した冬季降水量

と、空間内挿のみの冬季降水量を比較している。

積雪データを同化する事により、冬季降水量が 20%程度増加している。さらに、上の右図は、世界的に良く用いられているデラウェア大学が地点データを基に、空間内挿によって作成したデータの比較である。デラウェア大学によるデータセットが、本研究で得られた冬季降水量に比べ 70%であることが分かる。冬季降水量について、積雪データを同化する事で再評価可能であることが示された。

### ③ ダウンスケールによる降水量評価

全球気候モデルの気候モデル出力をダウンスケールする事で、地点観測データと比較した。その結果、山岳域で地点観測データとの差が大きくなることが明らかになった。

現在は、既存データ並びに全球気候モデルによる降水量に問題点と利点を明確にし、流出モデルの出力について解析している。

## 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 1 件)

① Suzuki, K. et al., 2011. Impact of land-use changes on snow in a heavy-snowfall forested region of northern Hokkaido, Japan. Hydrological Sciences Journal, 56(3): 443-467. 査読有

[学会発表] (計 3 件)

① Suzuki, K.、Interannual variation of snowmelt runoff in Siberian Lena River basin、International Conference of Remote Sensing on Hydrology 2010、2010年9月24日、Jackson Hole, USA

② Ma, X., Hara, M., and Suzuki K.、Precipitation simulation of the Lena River basin using WRF in the period of 1986-2000、Annual WRF User's Workshop、2010年6月22日、Boulder, USA

③ 鈴木 和良、東シベリア・レナ川流域での積雪データ同化に関する研究、極域気水圏シンポジウム、2009年11月17日、国立極地研究所

[図書] (計 1 件)

① Suzuki, K.、Encyclopedia of Snow, Ice, and Glaciers、Siberia、In Press

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鈴木 和良 (SUZUKI KAZUYOSHI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主任研究員

研究者番号：90344308

### (2) 研究分担者

馬 燮鈞 (MA XIEYAO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・チームリーダー

研究者番号：30344302

### (3) 連携研究者

小杉 健二 (KOSUGI KENJI)

独立行政法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター・主任研究員

研究者番号：40425509