

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：32675

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K21585

研究課題名（和文）機械学習を用いた南極域周辺における擾乱に伴う雲抽出と降雪量推定に関する研究

研究課題名（英文）Study on cloud extraction and snowfall estimation associated with cyclonic disturbances around the Antarctic using machine learning

研究代表者

伊藤 香寿恵（鈴木香寿恵）（ITO(SUZUKI), KAZUE）

法政大学・理工学部・助手

研究者番号：20455190

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：南極・昭和基地を対象に降雪時に着目している雲頂高度の高い雲が降雪に対して寄与をもつことを確認した。ブリザードは飛雪効果を持つため、衛星雲画像から抽出した雲データは涵養量を表すパラメーターであることが妥当と判断した。5年分の雲画像を用い、降雪時の雲を正例としたCNNによる自動識別のための学習を行ったが、まだ正答率が十分ではなく、より一層の学習器の精度向上が必要と判断し、30年分の画素の荒い大きな画像に対する学習は行わなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は深層学習を長期間取得、保存されている南極域の衛星雲画像データに適用するものであり、データの利活用の一端を担っている。それと共にこれまで観測自体が難しい南極氷床質量収支を新たな方法で推測する手法の開発である。機械学習を南極域の衛星雲画像データに適用する例は世界的にはすでに存在しているが、降雪・涵養量の推定を目的とした研究としては初めてであり、気象・気候の数値モデルや衛星画像のアルゴリズムだけではない第三の手法として定量化が実現できればそれぞれのモデルの検証や改良にも役立つ結果となるだろう。

研究成果の概要（英文）：It was confirmed that clouds with a high cloud top height, which are focused on during snowfall, have a contribution to snowfall at Antarctica and Syowa Station. Since the blizzard has a snow flying effect, it was judged appropriate that the cloud data extracted from the satellite cloud image as a parameter of the amount of the net surface snow mass balance. I performed learning for automatic classification by CNN using cloud images of 5 years as a positive example of clouds during snowfall, but the accuracy is still insufficient, and further improvement of the accuracy of the learner is required. Based on these results, I did not practice on learning for a large image with rough pixels for 30 years.

研究分野：応用統計学，極域気候学

キーワード：機械学習 降雪 南極 水蒸気輸送 衛星画像

1. 研究開始当初の背景

人間活動の影響によって近年加速していると考えられている地球温暖化は、極域では一見異なる影響を受けているように見える。衛星観測データから北極海の氷は減少傾向であり、南極氷床の体積が増えているという報告がある。特に、南極氷床は地球上の氷のうち、約9割を占めており、海水以外の水のほとんどがあるといっても過言ではない。この、南極氷床の保有水量をより正確に見積もり、その変動を捉えることは、地球環境の将来予測には欠かせない重要な情報であると共に、氷床コアから再構築される古気候変動メカニズムの解明を促進することが期待出来る。氷床に浸透しその質量を大きくすることを涵養というが、氷床の質量収支の中で氷床を涵養できるのは表面からの水の供給(すなわち降雪)だけである。近年、東南極氷床の涵養量に大きな影響をもつ水蒸気輸送の2009年のイベント解析がなされ(Gorodetskaya et al. 2014)、擾乱システムにブロッキングが発生し、水蒸気輸送が極向きに強化される状況となっていたことが示されている(Weker et al., 2014)。日本の観測拠点である昭和基地においても同様な多雪の報告がされており、沿岸にある昭和基地から内陸にあるドームふじ基地までのルート上で毎年測定されている雪尺データからも当該年度には平年値を上回る涵養量が推測されている(Wan et al., 2015)。ところが衛星観測による南極全域における涵養量の変動からは、特に西南極で顕著に減少していることが報告されている(Burgener et al., 2015)。すなわち南極氷床全体における涵養量を正確に捉えるためには降雪や消耗などのプロセスを理解し、実測することが重要である。しかしながら、その厳しい環境や飛雪の影響などから降雪量の観測自体が難しく、観測データも乏しいという現状である。物理モデルによって降雪イベントを再現し、降雪量を推定することは可能ではあるが、計算コストから長期間の再現実験は現実的ではない。

2. 研究の目的

地球温暖化の影響を受けた将来の気候変動をより正確に予測するために、海水を除いた地球上の水のほとんどを保有する南極氷床の質量収支を正確に捉えることが重要である。南極氷床の体積を増やす効果をもたらすのは、降雪現象だけであるがその挙動を観測することは技術面・環境面でも依然困難を極めている。本研究はこれまで蓄積されてきた衛星観測による雲画像、現地観測による降雪情報、さらには数値モデルによる予測値にデータ同化手法を適用して得られた再解析気象データを用い、降雪をもたらす典型的な気象場の空間パターンとその雲構造を教師とした機械学習の手法を適用する降雪量推定モデルの開発を目的とし、南極氷床の質量収支を算出し、過去30年における時・空間変動を推定することを目指している。

3. 研究の方法

本研究では機械学習に基づくイメージング解析手法を衛星観測による南極域における雲画像に適用し、雲構造の自動抽出および涵養量の推定を行った。以下の手順で進める予定であった。

- (1) 雲構造の分類・抽出
 - (2) 雲識別アルゴリズムを検討し、自動抽出に組み込む
 - (3) 雲構造と客観解析気象データから降雪量の推定モデルを構築する
 - (4) 南極域全体を対象にした降雪量推定モデルのパラメタリゼーションを行う
 - (5) 過去30年間について降雪量の推定を行い、涵養量の年々変動を得る
- (2)のアルゴリズムに関して、検討は行ったが自動抽出に組み込むことは実施されなかった。

4. 研究成果

2009年を中心に昭和基地において直接観測された降雪イベント時の雲画像に対して、Convolution Neural Network (CNN)と呼ばれるディープラーニング手法を適用し、雲構造の特徴の検出を試みた。降雪イベントの抽出は、南極観測報告による各級ブリザードの発生期間とした。用いる衛星観測データはNOAA AVHRRの複数チャンネルで、輝度温度差による雲検出処理を行った上、前後6時間以内のデータを結合することで、なるべく欠測値を少なくした画像を作成した。また、降雪時の雲パターンから雲の面積を算出し、イベント毎の特徴や降雪量との関係について調べた。

(1) 降雪時に特徴的な雲と降雪量の関係

図1は、合成して得られた降雪時の雲画像を、多雪(a)と少雪(b)の場合について示したものである。昭和基地の位置を星で示している。a)において、昭和基地の西側に低気圧があり、その前面に細長く中緯度側まで連なるAtmospheric Riverと考えられる高高度の雲が検出されるのに対し、少雪だった場合のb)においては低気圧に伴う雲が南極氷床へ侵入しているが、その侵入口が昭和基地よりも東側にあり、すでに降雪を経験した雲が昭和基地周辺に到達する状況となっている。この結果はすでに流跡線解析によって推定した降雪時の輸送経路と一致しており、このような状況が降雪現象と密接に関連していることが示唆された。カルマンフィルタを用いた降雪量の推定を元に詳細なイベント解析を行い、ブリザードによる飛雪の影響が大きく、雲画像

から降雪量推定モデルのパラメーターを生成する場合には、降雪量ではなく、正味の涵養量の推定パラメータとすることが妥当であることを確認した。

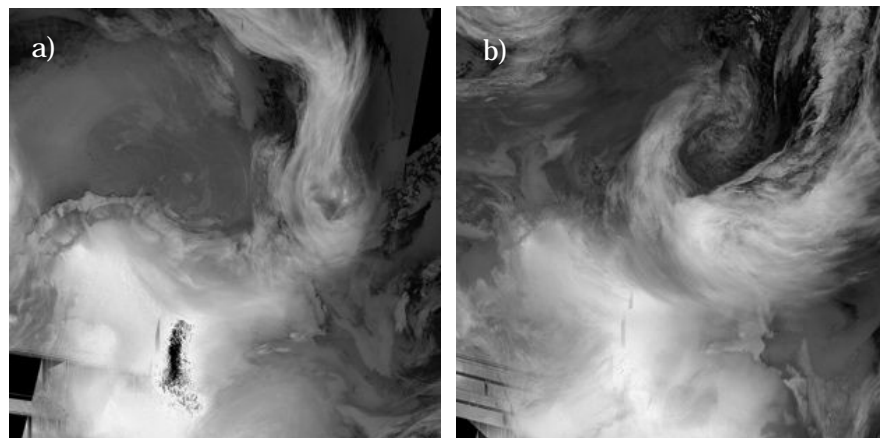


図 1 a) 多雪 b) 少雪だった際の結合された雲

(2)雲の自動検出器の作成

高高度の雲画像を自動検出するために、CNN による学習器を作成した。ネットワーク構造としては VGG16 に Inception 構造を加え、全結合層を Global Average Pooling に置き換えてパラメータ数を削減した。

条件は次のように設定した。正例条件は昭和基地の天気概況「降雪」かつ昭和基地の雲量が 8 以上。負例条件は上記以外の画像視野が大きいものとした。正例に、Positive(高高度の連なる雲が見られる場合)と Semi-Positive(高高度の連なる雲があった場合でも、画像視野が途切れている、雪が観測されていない)タグを付けた。さらに、Positive と Semi-Positive を分けた学習を 3 値分類、Positive と Semi-Positive をすべて正例にした学習を 2 値分類として学習器の性能を比較した。学習、検証、テストに使用した画像データ数について表 1 に示す。表からもわかるとおり、2 値分類の際は正・負のデータ数がほぼ同数であるのに対し、3 値分類の際は Positive の数が足りず、データ数に偏りがあることが明瞭である。

	Training [80%]	Validation [5%]	Testing [15%]
Positive	138	6	26
Semi-Positive	477	30	90
Negative	611	38	115

表 1 学習・検証・テストに用いたそれぞれのタグに対するデータ数

また、学習に際し、対象である昭和基地以外に降雪をもたらす同様な雲もまた同じ画像に含まれていることが多く、昭和基地における降雪には影響のない雲も検出してしまうことが判明した。この現象を防ぐため、図 2 のようなクロップ画像を作成し、昭和基地に影響のある降雪雲の検出を実施するようにした。

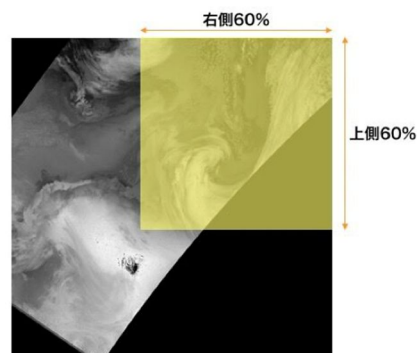


図 2 昭和基地周辺の領域をクロップした画像

(3)結果

識別精度は、二値(三値)分類は 71.00%(65.37%)であった。Grad-CAM による可視化結果は三値分類時に雲構造を捉えられている様子を示していた(図 3)。2 値分類の学習がより精度が高かったが、正例のテスト精度は 7 割に到達出来ていなかった。Grad-CAM の可視化結果から、2 値分類は雲の連続性、3 値分類は雲の全体的な特徴を見ていると考えられた。しかしながら、自動識別を実施する上で 7 割という精度はまだ十分でないと判断し、3-(5)にある 30 年分の結合された画素の荒いデータに対して学習を実行するには至らなかった。今後は昭和基地で受信した衛星画像の使用データ期間を延ばし、まず自動識別精度を 8 割に向上させることを目標とし、精度が向上後に南極域全体に対する雲画像の学習・識別を実施したい。

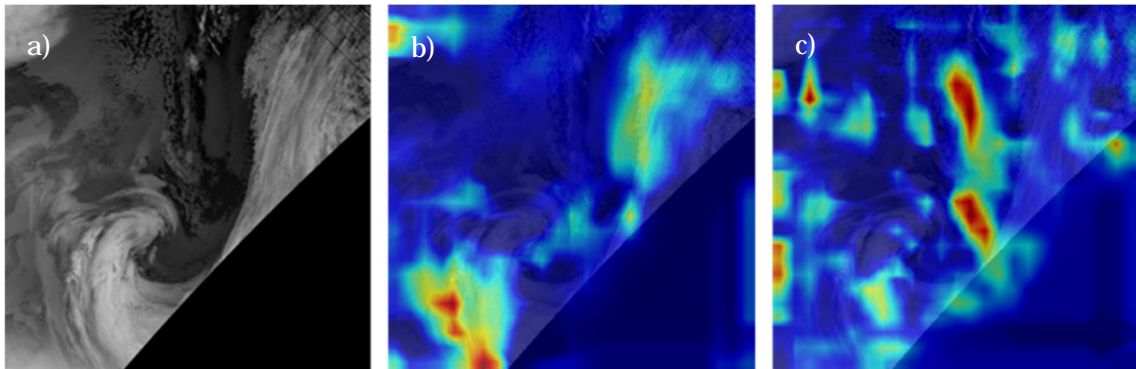


図 3 (a)元のクロップ画像。(b)3 値分類, (c)2 値分類時の正答とした場合の Grad-CAM による可視化結果。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kazue Suzuki, Masaki Shimomura, Kazuyuki Nakamura, Naohiko Hirasawa, Hironori Yabuki, Takashi Yamanouchi, Terumasa Tokunaga	4. 巻 -
2. 論文標題 Identifying the Snowfall Cloud at Syowa Station, Antarctica via a Convolutional Neural Network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 人工知能学会全国大会論文集	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Suzuki, K., Tokunaga, T. and Yamanouchi, T.
2. 発表標題 The Detection of Cloud Pattern in the Antarctic Using Convolution Neural Network for Estimation of the Snowfall Amount
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 15th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazue Suzuki, Terumasa Tokunaga, Misaki Fukuchi, Takashi Yamanouchi
2. 発表標題 The cloud patterns in the snowfall conditions at Syowa Station, Antarctica
3. 学会等名 The Ninth Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Suzuki, K., Tokunaga, T., Fukuchi, M. and T. Yamanouchi
2. 発表標題 An examination of the methodology for the cloud identification related to the precipitation using Convolution Neural Network
3. 学会等名 The 7th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木 香寿恵, 徳永 旭将, 平沢 尚彦, 門崎 学, 山内 恭
2. 発表標題 南極域における降雪をもたらす雲パターン検出手法の検討
3. 学会等名 日本気象学会2016年春季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 鈴木香寿恵, 徳永旭将, 福地岬稀, 平沢尚彦, 山内恭
2. 発表標題 ディープラーニングによる南極昭和基地周辺における降雪をもたらす雲の検出
3. 学会等名 雪氷学会雪氷研究大会(2019・山形)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木香寿恵, 下村真生, 中村 和幸, 徳永旭将, 福地岬稀, 平沢尚彦, 矢吹裕伯, 山内恭
2. 発表標題 CNNを用いた南極域における降雪時の雲パターン検出
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazue Suzuki, Masaki Shimomura, Kazuyuki Nakamura, Naohiko Hirasawa, Hironori Yabuki, Takashi Yamanouchi, Terumasa Tokunaga
2. 発表標題 The detection of a cloud pattern and the estimation of snowfall by a coupling of CNN and time-series analysis
3. 学会等名 Workshop on Antarctic AWS and International cooperative work with Antarctic Meteorological Research Center, University of Wisconsin, Madison (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazue Suzuki, Masaki Shimomura, Kazuyuki Nakamura, Naohiko Hirasawa, Hironori Yabuki, Takashi Yamanouchi, Terumasa Tokunaga
2. 発表標題 The snowfall-cloud at Syowa Station identified by Convolutional Neural Network
3. 学会等名 The Tenth Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木香寿恵, 徳永旭将, 福地岬稀, 矢吹裕伯, 平沢尚彦, 山内恭, 下村真生, 中村和幸
2. 発表標題 降雪をもたらす雲の自動検出
3. 学会等名 第11回大気・雪氷・海洋間の物質交換・循環と極域への物質輸送に関する研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazue Suzuki, Masaki Shimomura, Kazuyuki Nakamura, Naohiko Hirasawa, Hironori Yabuki, Takashi Yamanouchi, Terumasa Tokunaga
2. 発表標題 Identifying the Snowfall Cloud at Syowa Station, Antarctica via a Convolutional Neural Network
3. 学会等名 2020年度 人工知能学会全国大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 平沢 尚彦、山内 恭 編 (分担執筆)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 日本気象学会	5. 総ページ数 452
3. 書名 「南極氷床と大気物質循環・気候」気象研究ノート 第233号	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	徳永 旭将 (Tokunaga Terumasa)		
研究協力者	山内 恭 (Yamanouchi Takashi)		
研究協力者	中村 和幸 (Nakamura Kazuyuki)		