

Nara Women's University

【内容の要旨及び審査の結果の要旨】 光化学シミュレーションモデルを用いた冬季北極域のオゾン破壊過程に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2010-07-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 池田,奈生, 林田,佐智子, 城,和貴, 高須,夫悟, 杉田,孝史 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10935/1767

氏名(本籍)	池田 奈生 (京都府)
学位の種類	博士(情報科学)
学位記番号	博課第353号
学位授与年月日	平成19年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 人間文化研究科
論文題目	光化学シミュレーションモデルを用いた冬季北極域の オゾン破壊過程に関する研究
論文審査委員	(委員長) 教授 林田 佐智子 教授 城 和 貴 教授 高須 夫 悟 教授 杉田 孝 史 (国立環境研究所主任研究員)

論文内容の要旨

冬季北極域で起こる大規模な化学的オゾン破壊は、極成層圏雲 (Polar Stratospheric Clouds ; PSC) 上での不均一反応によって放出される塩素が主な原因である。不均一反応の反応速度は PSC 表面積の大きさに比例するため、PSC 表面積はオゾン破壊量を定量的に理解する上で重要なパラメータである。しかしながら、PSC 表面積は直接観測することが難しい。これまでは熱力学平衡理論に基づいて PSC 表面積を理論的に求める方法が用いられてきたが、不確定要素が高く、PSC 表面積を定量的に評価することは困難であった。

本論文では、PSC 表面積の変化に最も感度のあるクロリンナイトレイト (ClONO_2) に着目し、Support Vector Machine (SVM) という情報科学的手法を応用して、PSC 表面積を定量的に評価するためのシステム構築を行っている。冬季北極域では、大気中の ClONO_2 濃度と PSC 表面積には密接な関係があり、この関係と理論から導く方法を組み合わせ PSC 表面積の推定を行った。

まず第1章では、冬季北極域での化学的オゾン破壊過程、 ClONO_2 の役割、本研究の目指すところが述べられている。

第2章では、光化学ボックスモデルと流跡線解析ツールを組み合わせたシミュレーションシステムの構築について述べられている。光化学ボックスモデルは、Kagawa and Hayashida (2003) で構築された化学反応モデルを基礎として構築を行い、さらに各反応速度定数の更新と太陽紫外線放射量計算の改良を行っている。

第3章では、PSC 表面積と ClONO_2 の関係を定量的に理解するため、 ClONO_2 と、 ClONO_2 の生成・消滅に関わるパラメータ（PSC表面積、日照量、 ClO 量、 NO_2 量）の関係について詳細に解析を行っている。解析には、本論文で構築したシミュレーションシステムを用い、1997年冬季北極域を対象として、各化学種の濃度を求めた結果を使用した。この結果を用いて、まず、各空気塊の不均一反応の特徴を解析した結果、表面積が大きい PSC が長時間（又は短時間）発生した場合や、表面積が小さい PSC が長時間発生した場合などの、さまざまな状態を経験した空気塊が混在していることを示した。そこで、これらのパターンの違いによる影響を受けることなく不均一反応の影響を評価するために、PSC 表面積積分値を指標に用いた。 ClONO_2 の不均一反応によるタイムスケールは数時間であることから、空気塊が受けた PSC 表面積が大きい場合と小さい場合では、PSC 表面積の増加に伴う ClONO_2 減少率が異なると考えられる。そこで、PSC 表面積積分値の分布より、「不均一反応の影響が小さい空気塊」と「不均一反応の影響が大きい空気塊」の2つのグループに分類し、 ClONO_2 と PSC 表面積の関係について解析を行った。この結果、PSC 表面積積分値の増加に対する ClONO_2 変化率は、不均一反応の影響が大きい方が、小さい方よりも約1桁小さくなっていた。これは、不均一反応の影響が大きい場合は、大気中の ClONO_2 濃度が大きく減少してしまうためであることを示した。

第4章では、ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite) 衛星に搭載された ILAS (Improved Limb Atmospheric Spectrometer) センサーで観測された ClONO_2 観測データと、モデルで計算した ClONO_2 の生成・消滅に関わるパラメータからデータセットを作成し、これを Support Vector Machine (SVM) に与えることにより、PSC 表面積推定システムの構築を行っている。SVM とは、Vapnikら (1963) によって提案されたパターン認識手法である。不均一反応の影響の大小によって、PSC 表面積と ClONO_2 濃度の関係が異なるため、この関係を推定できる2層構造システムを構築した。システム上層では、大規模な PSC 表面積とそれ以外の2つに分類する SVM を作成した。また下層では、上層で分離した2つの集合に対して、さらに分類を行う2つの SVM を作成した。そして作成したデータセットをトレーニングデータとテストデータに分け、SVM の学習とテストを行った。その結果、大規模な PSC 表面積とそれ以外の表面積は、システム構築に十分な識別率で識別可能であったことを示した。

本論文では、PSC 表面積推定システム構築のためのフレームワークを提案したものであるが、今後新たな観測により観測事例が蓄積されれば、それを本システムに入力することで、PSC 表面積、ひいてはオゾン破壊量のより正確な見積りが可能となることが期待される。

なお、第4章の内容は下記の論文に採録されている。

Support Vector Machine を用いた極成層圏雲表面積の推定、情報処理学会論文誌：数理モデル化と応用、(採録決定)、2007.

論文審査の結果の要旨

本論文は、極域成層圏におけるオゾン破壊過程をシミュレートする光化学ボックスモデルを開発し、それを応用して極域成層圏雲（PSC）の表面積を推定するシステムを開発した研究成果を報告したものである。申請者は、オゾン破壊の程度を左右する最も大きな要因の一つである PSC の表面積に着目し、クロリンナイトレイト（ClONO₂）の濃度から PSC の表面積を Support Vector Machine を用いて推定するという全く新しい着想を得た。情報処理分野で近年注目されている Support Vector Machine を地球科学へ応用した事例としては本研究が初めてである。本論文ではこのシステムを用いて計算した結果を検証し、有意な PSC 表面積の分類が可能であることを明らかにしている。

第二章で詳述されているように、本研究で開発された光化学反応ボックスモデルは、59種類の化学種を変数として、その濃度の時間発展を157の反応式に基づく連立微分方程式として記述し、解くものである。数値計算手法としては Rosen-Brock 法と呼ばれる計算方式を用いている。このモデルでは気相化学反応の時間発展だけでなく、さらに極域成層圏雲（PSC）生成過程と、その表面で起こる不均一反応を組み込んでいる。PSC については、熱力学平衡理論に基づく過冷却三成分液滴の生成を定式化したルーチンを組み込んでいる。また、不均一反応係数を計算するための有効衝突係数（ γ ）については、最新の知見をもとに厳密に計算するルーチンの開発を行っている。また、光解離反応定数（ J ）については、最新の多重散乱計算モデル TUV を取り込んでいる。これらは高度な専門知識に裏付けられなければ不可能な作業であり、申請者は多数の原著文献を読破してこれらの作業を成し遂げた点で評価できる。

第三章ではモデルを用いて行ったシミュレーション結果を示して PSC 表面積とクロリンナイトレイトとの関係を示した。クロリンナイトレイトと PSC は単純にその場の平衡関係で決定されるものではないので、観測までの7日間の空気塊の履歴を流跡線計算によって解析し、パラメータの取り方を検討した。その結果、7日間の積分量としてのパラメータを定義した。これらの定義の仕方などはすべて本人の創意工夫によるもので、評価に値する。

第四章において Support Vector Machine を用いて PSC 表面積の推定を行い、有意に PSC 表面積を分類できることを示している。この章の内容は査読付き学術雑誌である情報処理学会誌 TOM に採録・公表されている。

上記の通り、本論文は、高度な専門知識に裏付けられていること、情報科学分野への応用として全く新しい着想に基づいていること、すでに査読付き論文集に原著論文1本が発表されていることから、博士号（情報科学）を受けるにふさわしいと判断される。