

## EISCAT レーダー用信号処理装置の開発と極域下部熱圏観測への応用

### Development of the receiver system for the EISCAT radar and its application to the polar lower-thermospheric measurement

(地球電磁気・地球惑星圏学会推薦)

代表研究者	名古屋大学	大山伸一郎	Nagoya Univ.	Shin-ichiro OYAMA
協同研究者	アラスカ大学	ブレントン J. ワトキンス	Univ. of Alaska Fairbanks	Brenton J. WATKINS

An important aspect of the polar dynamics in the lower thermosphere (90-120 km) is to know vertical motions in association with enhancements of the auroral activity. Previous studies have suggested that the physical mechanism of generation in the vertical motion is the thermal expansion during the auroral activity. However, the subject has not yet been adequately investigated, particularly in quantitative manner. Data taken with European Incoherent Scatter (EISCAT) radar, Fabry-Perot Interferometer, and other optical instruments located at northern Scandinavia were analyzed for further understanding regarding the generation mechanism of the vertical motion. The analysis in this study suggests that (1) modulations in the pressure gradient play an important role to generate the vertical motion together with the thermal expansion, and (2) the vertical motion is spatiotemporally localized at the edge of the aurora. This study also developed the receiver system for the EISCAT radar. Since the receiver system is available to measure the lower thermosphere at shorter time resolution than the current system, its application to this field must be useful to understand the localized structure in the vertical motion.

## 研究目的

太陽から地球大気へのエネルギー輸送過程には、太陽光照射やプラズマ粒子の浸入等があり、時間・緯度・高度によって異なった特徴を持つ。中でも高緯度帯の超高層大気は、太陽起源の電磁・粒子エネルギーによって力学的に劇的な変動を受ける領域である。学際的な研究活動の結果、高緯度超高層大気の力学的変動の多くが解明されてきた。しかし、まだ多くの重要課題が残されており、その中でも特に興味深い命題の一つにエネルギー流入量の増加に伴う下部熱圏（高度 95～120 km）鉛直風速の変動がある。鉛直風速とは、大気の上下方向の運動速度である。本研究の科学目的は、このエネルギー量と鉛直風速変動との物理的関係を定量的に把握することである。この達成のためには、エネルギー量の推定に必要な電磁氣的物理量（電子密度や電場など）、その水平分布を把握するためのオーロラ画像情報、さらに風速データを同時に観測することが必要である。そこで本研究では、スカンジナビア半島北部に設置された欧州非干渉散乱（EISCAT）レーダーと光学装置を用いた総合観測・解析研究を実施した。さらにより高い空間・時間分解能のデータを EISCAT レーダーで取得するための信号処理装置の開発を行った。

## 研究経過

### 1. 極域下部熱圏における鉛直風の発生に与える圧力勾配の影響

EISCAT レーダーは 3 基のアンテナを持ち、それらを同時に稼働させることである任意の点におけるイオン速度ベクトルを導出することができる。このベクトル量を運動方程式に代入することで中性大気の世界速度ベクトルを計算することが可能である。この特徴を活かした実験を 2004 年 9 月 9–10 日に実施し、本研究においてその解析を行った。9 月 9 日 23 UT の前後にオーロラ活動が活発になり、レーダーは北向き斜め上方向に加速される風速を観測した。この時、風速の鉛直成分は一時的に 50 m/s を超えた。通常、鉛直風速はほぼ 0 m/s であるので、この観測値は非常に大きな風速であることが分かる。スカンジナビア半島の磁力計ネットワークデータを解析したところ、レーダー観測地点の南側約 80 km のところにオーロラジェット電流の極大値が存在したことが分かった。これらのことから、レーダー南側の加熱領域で加速された大気が徐々に上昇しながらレーダー観測領域を通過したことが示唆される。この結果は、オーロラジェット電流の増加に伴う加熱によって大気が膨張する効果とともに、圧力勾配の変化が鉛直運動の発生に寄与していることを示唆する重要な結果である。

### 2. 極域下部熱圏における鉛直風の発生とオーロラとの関係

下部熱圏に鉛直運動が発生した時のオーロラの状態を捕捉することを目的に、EISCAT レーダー観測と光学装置との同時観測を 2009 年 1 月に実施した。この観測はロケット観測実験のキャンペーンと平行して実施された。1 月 26 日 00:25 UT（世界標準時）から 00:30 UT にかけて

激しいオーロラの変動が発生し、それと同時に EISCAT レーダーでオーロラジェット電流の増加に伴う温度上昇が観測された。ファブリペロー干渉計も上昇流から下降流へ変化する鉛直運動を観測したが、その後の 30 分間もオーロラ活動が継続したにもかかわらず顕著な鉛直運動は発生しなかった。オーロラ画像との比較研究を行った結果、オーロラが発光している脇の部分で鉛直運動が発達していることが分かった。この結果は、加熱と鉛直運動が発生した場所とオーロラとの相対的位置関係を示す観測的証拠であり、エネルギー流入と鉛直運動発生との定量的理解にとって重要な結果である。

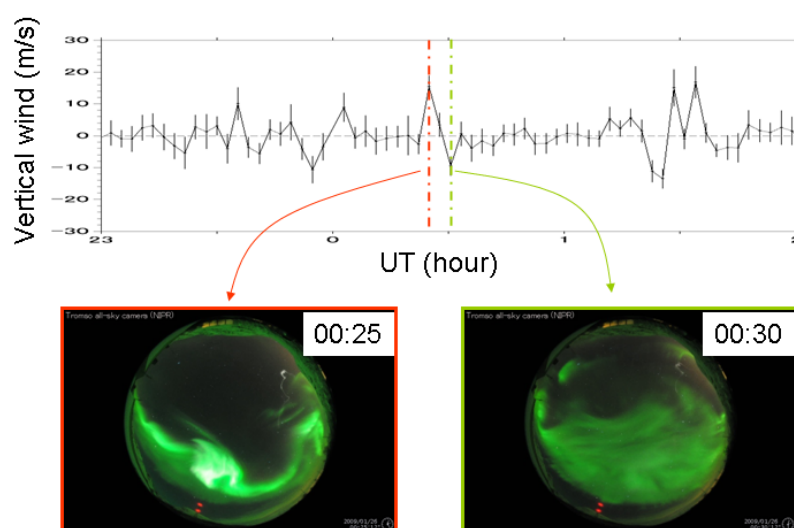


Fig. 1 Temporal variations in the vertical wind (positive upward) measured with the Fabry-Perot Interferometer (wavelength: 557.7 nm) from 23 UT on January 25 to 02 UT on January 26, 2009 at Tromsø, Norway. Two pictures below present all-sky images taken at the same location at 00:25 and 00:30 UT. Zenith of the Fabry-Perot Interferometer is located at the center of the picture.

### 3. EISCAT レーダー用信号処理装置の開発

経過 1-2 で紹介した風速変動は 5-10 分の時間スケールを持つが、より短周期の変動が存在していることが過去の研究で示唆されている。これを観測するために EISCAT レーダー用の信号処理装置の開発を行った。本装置は 2009 年 2 月に完成し、翌 3 月に EISCAT レーダーへの設置

作業とともに、短周期の変動を観測するためのレーダー運用コードの開発を行った。3月3～5日にテスト観測を実施し、本装置と運用コードが正常に動作することが確認された。

## 考察

本研究では、観測データをもとにした極域下部熱圏における鉛直風速の発生機構の解明を目指した。これまでの研究でオーロラジェット電流の増加に伴う加熱によって大気が膨張し、その結果、鉛直運動が発生する、という物理機構が提案されていた。本研究で取り上げたイベントにおいてもオーロラジェット電流や加熱エネルギーの増大と鉛直運動の発生は同期しており、従来の見解と一致していた。しかしより詳細な解析の結果、大気膨張だけではなく圧力勾配の変化も鉛直運動の発生に重要な役割を果たしていることが示唆された。さらに、オーロラ画像と比較することで鉛直運動はオーロラが発光している脇の部分で発達することが示唆された。しかしその発生は空間的・時間的に局所的であり、たとえオーロラ活動が継続してもそれに準じて鉛直運動も継続するわけではないことが示唆された。今後は、本研究で開発した信号処理装置を利用し、より高い時間分解能を有した観測データをもとに発生機構の全容解明に迫る。

## 研究発表

### 口頭発表

1. 大山伸一郎, 津田卓雄, 浅村和史, 平原聖文, 山崎敦, 坂野井健, 笠羽康正, 藤井良一, 野澤悟徳, 非干渉散乱レーダーとれいめい衛星との同時観測データを用いたオーロラアーク近傍での電流系微細構造の研究, 地球電磁気・地球惑星圏学会秋期大会, 2008年.
2. 栗原純一, 大山伸一郎, 野澤悟徳, 藤井良一, 小川泰信, 岩上直幹, 阿部琢美, DELTA-2 campaign: 極域下部熱圏の力学とエネルギー収支のロケット・地上総合観測計画, 地球電磁気・地球惑星圏学会秋期大会, 2008年.
3. 津田卓雄, 野澤悟徳, 大山伸一郎, 元場哲郎, 小川泰信, 品川裕之, 西谷望, 細川敬祐, 佐藤夏雄, Mark Lester, 藤井良一, 極域下部熱圏における高速中性風の加速機構, 第32回極域宙空圏シンポジウム, 2008.
4. 野澤悟徳, 大山伸一郎, 藤井良一, 小川泰信, 北極域における各種レーダーを用いた極域下部熱圏・中間圏の研究, 第32回極域宙空圏シンポジウム, 2008.
5. 栗原純一, 大山伸一郎, 野澤悟徳, 藤井良一, 小川泰信, 岩上直幹, 阿部琢美, DELTA-2 campaign: 極域下部熱圏の力学とエネルギー収支の総合観測計画, 第32回極域宙空圏シンポジウム, 2008.
6. 大山伸一郎, 栗原純一, 津田卓雄, 前田佐和子, 野澤悟徳, 藤井良一, EISCAT レーダーで観測された極域下部電離圏における鉛直イオン速度の高周波変動, 第32回極域宙空圏シンポジウム, 2008.
7. 大山伸一郎, 津田卓雄, 浅村和史, 平原聖文, 山崎敦, 坂野井健, 笠羽康正, 藤井良一, 野澤悟徳, 非干渉散乱レーダーとれいめい衛星との同時観測データを用いたオーロラアーク近傍での電流系微細構造の研究, 第32回極域宙空圏シンポジウム, 2008.

8. 大山伸一郎, 栗原純一, 津田卓雄, 極域下部電離圏で観測された鉛直イオン速度の高周波変動, 日本地球惑星科学連合大会, 2008.
9. 大山伸一郎, 津田卓雄, 浅村和史, 平原聖文, 山崎敦, 坂野井健, 笠羽康正, 藤井良一, 野澤悟徳, 非干渉散乱レーダーとれいめい衛星との同時観測データを用いたオーロラアーク近傍での電流系水平微細構造の研究, 日本地球惑星科学連合大会, 2008.
10. 塩川和夫, 大塚雄一, 大山伸一郎, 野澤悟徳, 小川忠彦, EISCAT 及び中低緯度用ファブリ・ペロー干渉計の製作, 地球電磁気・地球惑星圏学会秋期大会, 2007 年.
11. 津田卓雄, 野澤悟徳, 大山伸一郎, 元場哲郎, 小川泰信, 品川裕之, 藤井良一, 電離圏対流増大時の極域下部熱圏中性風に関する事例研究, 地球電磁気・地球惑星圏学会秋期大会, 2007 年.
12. Shin-ichiro Oyama, and Brenton J. Watkins, Aspect angle dependency of the HF modification measured with MUIR at HAARP, AGU Fall Meeting, 2007.
13. James P. Sheerin, Jeff M. Gerres, M. E. Bacon, Brenton J. Watkins, William Bristow, Jason E. Turnquist, Shin-ichiro Oyama, Craig J. Heinselman, UHF and HF Radar Studies of Langmuir Turbulence Experiments at HAARP, AGU Fall Meeting, 2007.
14. Shin-ichiro Oyama, Taiki Watanabe, Ryoichi Fujii, Satonori Nozawa, Estimation of the Polar Ionospheric Conductance Using Data from the EISCAT Radar and the Multi-wavelengths Photometer, International CAWSES Symposium, 2007.
15. Junichi Kurihara, Shin-ichiro Oyama, Satonori Nozawa, Ryoichi Fujii, Yasunobu Ogawa, Naoshi Iwagami, Takumi Abe, DELTA Campaign: Coordinated Rocket and Ground-based Observations, International CAWSES Symposium, 2007.
16. Takuo Tsuda, Satonori Nozawa, Shin-ichiro Oyama, Tetsuo Motoba, Yasunobu Ogawa, Hiroyuki Shinagawa, Ryoichi Fujii, The Neutral Wind in the Polar Lower Thermosphere Observed during the Strong Ionospheric Convection, International CAWSES Symposium, 2007.

#### 誌上発表

1. Shin-ichiro Oyama, Takuo Tsuda, Takeshi Sakanoui, Yasuyuki Obuchi<sup>3\*</sup>, Kazushi Asamura, Masafumi Hirahara, Atsushi Yamazaki, Yasumasa Kasaba, Ryoichi Fujii, Satonori Nozawa, and Brenton J. Watkins, Spatial evolution of frictional heating and the predicted thermospheric-wind effects in the vicinity of an auroral arc measured with the Sondrestrom incoherent-scatter radar and the Reimei satellite, submitted to *J. Geophys. Res.*, 2009 January.
2. Takuo Tsuda, Satonori Nozawa, Shin-ichiro Oyama, Tetsuo Motoba, Yasunobu Ogawa, Hiroyuki Shinagawa, Nozomu Nishitani, Keisuke Hosokawa, Natsuo Sato, Mark Lester, and Ryoichi Fujii, Acceleration mechanism of high-speed neutral wind observed in the polar lower thermosphere, *J. Geophys. Res.*, in press, doi:10.1029/2008JA013867, 2009.
3. Shin-ichiro Oyama, Brenton J. Watkins, Sawako Maeda, Hiroyuki Shinagawa, Satonori Nozawa, Yasunobu Ogawa, Asgeir Brekke, Chantal Lathuillere, and Wlodek Kofman, Generation of the lower-thermospheric vertical wind estimated with the EISCAT KST radar at high latitudes during periods of moderate geomagnetic disturbance, *Ann. Geophysicae*, 26,

1491-1505, 2008.

4. Michel J. Kosch, Todd Pedersen, Elgeir Mishin, M. Starks, Elizabeth Gerken-Kendall, David Sentman, Shin-ichiro Oyama, Brenton J. Watkins, Temporal evolution of pump beam self-focusing at the High-Frequency Active Auroral Research Program, *J. Geophys. Res.*, 112, A08304, doi:10.1029/2007JA012264, 2007.