

|         |                                                                                                                                                 |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名     | ギャノット ハッセンフルック<br>Gernot Hassenpflug                                                                                                            |
| 学位の種類   | 博 士 (情 報 学)                                                                                                                                     |
| 学位記番号   | 情 博 第 85 号                                                                                                                                      |
| 学位授与の日付 | 平成 15 年 5 月 23 日                                                                                                                                |
| 学位授与の要件 | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                                                                                                                         |
| 研究科・専攻  | 情 報 学 研 究 科 通 信 情 報 シ ス テ ム 専 攻                                                                                                                 |
| 学位論文題目  | Study of turbulence structures in the lower atmosphere using spaced antenna techniques with the MU radar<br>(MUレーダーを用いた空間干渉計による下部大気圏乱流構造の観測的研究) |
| 論文調査委員  | (主 査)<br>教 授 深 尾 昌 一 郎    教 授 津 田 敏 隆    教 授 佐 藤    亨                                                                                           |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、滋賀県信楽町にある MU レーダー（北緯34.85度，東経136.10度）を用いて，空間アンテナ法（Spaced Antenna Method; 以下，SA 法）による大気乱流パラメータの新しい推定法を実現し，そのランダム推定誤差を理論的に導き，詳しい考察に基づいて推定法の性能評価を行ったものである。更に本論文では，大気乱流の構造関数（structure function）を用いた新しい SA 法の風速推定法を取り上げ，相互相関関数を用いる従来法との比較を行った。本論文は以下の 7 章から成っている。

第 1 章は序論であり，本研究の背景である大気の構造について述べられている。また大気乱流の理論的基礎について述べた後，レーダー観測の基礎となる大気による乱流散乱エコーの特性を概観している。

第 2 章では，Doviak *et al.* (1996) 及び Holloway *et al.* (1997) が提唱した SA 法観測に基づく新しい大気乱流の解析手法（Holloway and Doviak 法; 以下，HAD 法）について述べている。HAD 法を用いることで，SA 法観測から得られる散乱波の空間相関関数からアンテナビーム幅の効果を取り除いた大気乱流のみの空間相関距離が，長軸・短軸を持ちある方位を向いた楕円のパラメータとして得られることが理論的に示されている。

第 3 章では，HAD 法を MU レーダーに応用して得られた観測結果が述べられている。送信アンテナと受信アンテナの構成が異なる全部で 6 種の観測を順次行い，HAD 法の解析結果から，アンテナビーム幅による相関距離のオフセットの除去が正しく行われることを実証的に示した。また観測時間内の観測諸量の高度分布から，風速シアの大きな高度域で乱流強度の増大と乱流の空間相関距離の減少が発生するという，風速シアによる乱流生成の可能性を指摘した。

第 4 章では，誤差伝搬の理論を応用して，HAD 法による大気乱流の空間相関距離をはじめとする諸パラメータの推定に見込まれるランダム誤差を理論的に導出し，更にその結果を MU レーダー観測データに対して応用している。即ち，理論的に導かれたランダム誤差が，安定した条件下での約 1 時間にわたる MU レーダー観測結果の示す標準偏差によく一致することから，ランダム誤差についての理論考察の正当性が示されている。

第 5 章では，MU レーダーによる 24 時間にわたる観測データを用いて，大気乱流の空間相関距離とその異方性の時間・高度変動が示されている。大気風速及び風速シアベクトルの方向と，大気乱流の異方性の関係を統計的に考察した結果，大気乱流の空間相関距離が風速シアベクトルに沿った方向で長くなる傾向が明らかにされた。また前章で求められた HAD 法のランダム誤差解析の応用として，SA 法観測における新しいデータ選択手法を提唱した他，最も効率のよい観測パラメータの選択に関して議論を行っている。

第 6 章では，最近 Praskovsky and Praskovskaya (2002) によって開発された，乱流の構造関数（structure function）を用いた SA 法観測による水平風速推定法（University Corporation for Atmospheric Research-Structure Function Analysis of Radar Signals; 以下，STARS 法）と，本論文で採用している HAD 法の相互比較を行っている。MU レーダーを用いて実施された STARS 法の観測データに HAD 法を適用し，同時に 2 つの推定法で得られた風速と大気乱流強度の相

互比較から、両者の風速が非常によく一致することを明らかにした。一方、大気乱流強度については、特に乱流強度の小さい範囲でSTARS法による推定値がHAD法による値より大きくなるなど、両者の推定法の違いを明らかにした。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果をまとめている。

## 論文審査の結果の要旨

大気レーダーは大気乱流や成層構造からの散乱・反射エコーを用いて風速や大気乱流を観測する装置である。大気乱流は、たとえば大気中の微量成分の輸送に大きく関わるなど大気の構造を決める上で重要な役割を果たしている。本研究が対象とするのは対流圏中の大気乱流を構成する数センチメートルから数メートルの空間スケールを持つ個々の「渦」だけではなく、「渦」の集合として存在する大気乱流の空間スケール数十メートル規模を含む大気の構造である。これらの幅広いスケールの構造を観測する手段としてVHFレーダーによる空間アンテナ法（Spaced Antenna Method; 以後、SA法）が適しているが、従来、この観測法は主として風速推定にのみ用いられてきており、乱流観測への本格的な応用は行われていなかった。本研究では、HollowayとDoviakらが最近提唱した新しいデータ解析手法（Holloway and Doviak 法; 以下、HAD法）をMUレーダー観測データに適用したものである。本論文では、推定パラメータに含まれるランダム誤差に関する詳しい議論を行うなど、HAD法の有効性について様々な角度から検討を加え、その有効性と適用範囲を議論した上でMUレーダー観測結果について考察を加えている。ランダム誤差の導出は本論文の中心的課題であるが、誤差伝播理論に基づいて数学的に求められたものである。この手法には、観測条件を与えられれば誤差量が求めうるという長所がある一方、複雑なパラメータ推定法においては正しい誤差量を求めることが困難という短所がある。本論文では背景大気が安定した状況下におけるMUレーダー観測データのばらつきを用いて、現実のデータに見られる誤差の振る舞いが理論研究結果によく一致することを示すことで、結果の正しさを証明しており、評価できる。また本論文では、乱流の構造関数を用いるというHAD法と根本的に異なる推定法であるSTARS法との間で、風速及び乱流強度の比較研究も実施している。結果として風速の測定値が両者で非常によく一致する一方、乱流強度の推定値には推定法の原理の違いに起因すると思われる相違があることをはじめに指摘した。さらに両者の間には雑音や妨害信号に対する振る舞いが異なることも明らかにするなど、重要な成果を得ている。以上、本研究は大気レーダーのSA法観測から大気乱流構造を推定する方式について、観測と理論の両面から詳細な検討を加え、その限界と特徴を明らかにした上で有用性を示したもので、今後の大気力学の観測的研究に資するものであり、学術上実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年3月27日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。