

氏 名 吉田 明夫

学位（専攻分野） 博士（学術）

学位記番号 総研大甲第 1237 号

学位授与の日付 平成 21 年 3 月 24 日

学位授与の要件 複合科学研究科 極域科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 地磁気活動の季節変化と長期変化

論文審査委員 主 査 教授 佐藤 夏雄  
教授 澁谷 和雄  
教授 山岸 久雄  
教授 卷田 和男（拓殖大学）  
教授 利根川 豊（東海大学）

## 論文内容の要旨

地磁気活動の季節変化及び長期変化を、am index、aa index、AE index を用いて調べ、それらと太陽風、太陽活動との関連について考察した。主な結果は、sub-aurora 帯の地磁気活動指数である am index に見られる半年周変化の主要因と考えられている equinoctial effect の意味を明らかにしたことである。am index は、GSM 座標系 (geocentric solar magnetospheric coordinates) での Interplanetary magnetic field (IMF) の南向き成分 ( $B_s$ ) と太陽風速度 ( $V$ ) の二乗の積に比例することが、これまでの多くの研究によって示されているが、本論文では、日々 3 時間毎に計測される am index のデータと、ACE 衛星データから算出した IMF 及び速度の 3 時間平均値を使って、それらの関係をいろいろな視点から詳細に解析することにより、地磁気擾乱の生成に関わる有効な太陽風速度は地球磁場の双極子軸に直角な成分であること、そして季節変化の equinoctial effect の要因は、その直交成分が、たとえ太陽風の速度が年間を通して変わらなかったとしても、地球の公転運動によって季節変化をすることであることを定量的に明らかにした。この単純な結果が長い間、見逃されてきたことについては理由がある。その理由についても合わせて示した。季節変化の equinoctial effect は aurora 帯の地磁気活動指数である AE index に関しては一見して明らかではない。それは日射の影響を受けて、AE index と太陽風パラメータとの関係に夏と冬で違いが存在するためであるが、am index との相関関係を使って日射の影響を除くことにより、AE index についても equinoctial effect が作用している可能性を示した。

2003 年の am index の年平均値は、同指数が求められている 1868 年以來の 140 年間において最大であった。この高い地磁気活動の第一の要因は太陽風速度がほぼ年間を通して大きかったためであるが ( $B_s$  はその前後の数年と比べてとりわけ大きくはなかった)、am index の年平均値や月平均値について、従来から conventional に用いられている  $am \sim B_s V^2$  相関関係が、実は  $V$  の range によって変わり、 $V$  の range が大きい場合の方が、同じ  $B_s V^2$  の値に対して am は大きくなるという性質も、2003 年の異常に高い地磁気活動に関係していたことを示した。

地磁気活動は太陽黒点数の変化と同位相ではないが、太陽活動の 11 年周期変化に伴って変化する。この 11 年周期変化において、地磁気活動がもっとも低くなったときの年平均値が、それに続くサイクルの太陽活動の極大値と相関を持つことが知られており、その相関関係を用いた太陽活動の予測が以前から行われている。この予測手法の物理的根拠はいまだ明らかでないが、太陽風の速度や IMF の変化と比較することにより、地磁気活動の極小値は太陽表面上の磁場の強さを反映していることを見られることを示した。そして、太陽活動の極小期直前における太陽黒点数の減少率が次の太陽活動周期の極大値と関係していることを新しく見出し、その関係を用いて次のサイクル 24 の太陽黒点の極大値を予測した。この予測は、地磁気活動の極小値等に基づく従来の手法による予測とよく一致し、サイクル 24 の太陽活動は、前サイクル 23 と比べて低く、中程度の規模になると推定される。太陽活動極小期直前の黒点数の減少率が次の極大期における太陽活動の規模と相関することは、次のサイクルの準備が前のサイクルが終わる数年前から始まっていることを示唆する。

このほか、長期間のデータを用いて太陽活動と地磁気活動の関係を調べる過程で、太陽活動極大期の黒点数の月平均値は70付近、110付近、140付近、180付近に集中する傾向があることを発見した。これは、太陽活動極大期の黒点数は任意の連続的な値を取りうるのではなく離散的な値をとることを示しており、太陽ダイナモ理論を構築する上で重要な制約条件になると考えられる。また、この性質を基に太陽活動の長期的な変化を予測する手がかりが得られる可能性もあると期待される

南極の昭和基地では1966年より地磁気活動のK indexが計測されている。このK indexを、地磁気活動の変動振幅に関して線形的なスケールであるa indexに変換し、それとam indexやHermanus、柿岡のa indexと比較して、昭和基地での地磁気活動の長期的、季節的变化の特徴を調べた。長期的な変化としては、am indexとの相対比が経年的に増大してきていることを見つけた。このam indexに相対的な昭和基地のa indexの増大は南半球の夏の季節の昼の時間帯で大きく、冬の季節では小さい。また、増大傾向が昼間ほど顕著ではない夜の時間帯では、夏と冬で増大率に大きな違いは見られない。これに対して、Hermanusでは1980年頃まで、am indexとの相対比が逆に減少してきた傾向が見られる。また、柿岡では、am indexと相対的な、そうした一方向への変化は見られない。昭和基地の地磁気活動の季節・日変化は、am indexの季節・日変化と比べて、昼の時間帯で半年周変化が明瞭でないこと、ピークとなる月が3月、9月でなく、南半球の初夏と晩夏にずれるという特徴がある。これは、日射の影響を受けて、夏に電離層の電気伝導度が大きくなるためであると推定される。このことを考慮すると、南極の夏の昼の時間帯で、am indexに相対的な昭和基地の地磁気活動の増大傾向が明瞭なのは、極域での電離層電気伝導度が次第に増大してきていることを反映しているのではないかと考えられる。

## 論文の審査結果の要旨

本論文は地球上の中・高緯度における地磁気活動の統計的特性に関する研究で、1) 地磁気活動の季節変化、2) 地磁気活動と太陽活動、3) 昭和基地の地磁気活動の季節変化と経年変化、の3研究課題があり、各々で完結する構成になっている。3研究課題で共通しているのは、地磁気活動を代表する指数として am index、a index、K index、AE index を使い、また、地磁気活動を起こす原因となる物理パラメータとして、惑星間空間磁場 (Interplanetary magnetic field :IMF) の南向き成分 ( $B_s$ ) と太陽風速度 ( $V$ )、太陽黒点数、などを用いている。これら3研究課題の中でも、1) の研究成果が最もオリジナリティーがあると判断し、その審査を中心とした結果の審査報告をここに記載する。

第一番目の地磁気活動の季節変化に関する研究は、サブオーロラ帯の地磁気活動指数である am index に春秋分時に明確なピークを持つ半年周変化 (equinoctial effect) が存在し、その原因を究明したものである。地磁気活動は IMF の  $B_s$  と  $V$  の二乗の積に比例することがこれまでの多くの研究者によって示されているが、本論文でも、いろいろな視点からその詳細解析を行った。その結果、地磁気擾乱の生成に関わる有効な太陽風速度は地球磁場の双極子軸に直角な成分であること、つまり、季節変化の equinoctial effect の要因は、その直交成分が、たとえ太陽風の速度が年間を通して変わらなかったとしても、地球の公転運動によって季節変化をすると結論づけ、世界で初めて定量的にその要因を明らかにすることができた。

この画期的な成果を導いた理由として、過去の研究では、太陽風パラメータは長期間の平均値を用い、3時間毎に算出される am index との直接比較では無かった。一方、本研究では、同じ3時間毎の太陽風データと am index との直接比較を行った。その結果として、それぞれのデータの  $V^2$  に  $\sin^2(\Psi)$  を掛けた時に am と  $B_s^2$  との関係に良く一致することを示すことができた (ここで、 $\Psi$  は太陽を地球表面上に投影した点の磁気余緯度)。もう一つの理由として、今迄の研究では、am と  $B_s^2$  の関係が  $V$  のレンジによって変わることが認識されていなかったことである。本研究では、 $V^2$  の大きさで区分したデータを使うことで、同じ  $B_s V^2$  の値に対する am index の夏冬期間の平均値が春秋期間における am index の平均値に  $\sin^2(\Psi)$  を掛けたもので与えられることを示すことができた。

この結果の解釈としては、太陽風-地球磁気圏相互作用である磁気リコネクションを起こる場所は太陽風が磁気圏に最初に衝突する所でなく、磁気赤道面に近い所であることを示唆している。また、 $V$  依存性は、磁気リコネクションの効率が磁気圏に流入する磁場のフラックスのみでなく、磁気リコネクションが生じる場所の地球磁場強度の大きさにも関係していることも示唆している。

関連研究として、2003年の am index の年平均値は1868年以来140年間における異常的な最大値を示しており、その原因究明を行った。その結果、この高い地磁気活動の第一の要因は、太陽風速度がほぼ年間を通して異常に大きかったためであることが解った ( $B_s$  はその前後の数年と比べてとりわけ大きくはなかった)。am index の年平均値や月平均値について、従来から伝統的に用いられている am と  $B_s V^2$  相関関係が、実は  $V$  の range によって変わり、 $V$  の range が大きい場合の方が、同じ  $B_s V^2$  の値に対して am は大きくなるとい

う性質も、2003年の異常に高い地磁気活動に関係していたことを示した。

二番目の地磁気活動と太陽活動の研究では、太陽活動の11年周期変化に伴って変化する地磁気活動との関係について行った。地磁気活動の極小値は太陽表面上の磁場の強さを反映していると思われることを示した。そして、太陽活動の極小期直前における太陽黒点数の減少率が次の太陽活動周期の極大値と関係していることを新しく見出し、その関係を用いて次のサイクル24の太陽黒点の極大値を予測した。

三番目の昭和基地の地磁気活動の季節変化と経年変化の研究では、昭和基地の a index の長期的な変化が中緯度の am index との相対比で経年的に増大傾向であることを見つけた。この増大は南半球の夏の季節の昼の時間帯で大きく、冬の季節では小さい。昭和基地の地磁気活動の季節・日変化は、am index の季節・日変化と比べて、昼の時間帯で半年周変化が明瞭でないこと、ピークとなる季節が春秋でなく、南半球の初夏と晩夏にずれるという特徴がある。これは、夏の電離圏が日射の影響を受けて電気伝導度が増加するためであると推定される。このことにより、昭和基地の地磁気活動が am index に相対的に増大傾向であるのは、極域での電離圏電気伝導度が次第に増大してきていることを反映していると考えられる。電気伝導度の長期変動の原因として、温室効果ガスによる対流圏温暖化が超高層大気では寒冷化現象として現れる観点で、その可能性について議論している。

以上、極域科学専攻の博士論文として十分に価値を有するものと認められた。