

昭和基地—アイスランド地磁気共役点長期観測から得られた ELF/VLF放射の太陽活動度依存性、季節変化、 日変化及び週末効果

山岸久雄¹・菊池雅行¹・佐藤夏雄¹・長野 勇²・
Th. Saemundsson³

Solar cycle dependence, seasonal and daily variations, and weekend
effect deduced from long-term monitoring of ELF/VLF emissions
at Syowa-Iceland geomagnetic conjugate stations

Hisao Yamagishi¹, Masayuki Kikuchi¹, Natsuo Sato¹,
Isamu Nagano² and Th. Saemundsson³

Abstract: Long-term monitoring of natural radio wave emissions in the ELF/VLF range observed at Syowa Station, Antarctica ($L=6.1$) and its geomagnetic conjugate point in Iceland showed dependence on solar activities for solar cycles 21 and 22. It is also found that emissions were stronger in the summer hemisphere. Moreover, the daytime maximum of the emission appeared at local noon rather than magnetic noon. These two features indicate that the emissions observed on the ground intensified under the sunlit ionosphere. We also found a weekend decrease (−8%) of the emission intensity after 7 years of data average, suggesting that electromagnetic noises in the human world calm down on weekends, and this affected the efficiency of emission generation in the magnetosphere.

要旨: 過去 10 数年にわたり南極昭和基地と、その地磁気共役点アイスランドで観測された ELF/VLF 帯電磁放射データを解析し、太陽活動度変化に関連する 11 年周期の変動を見出した。共役点での放射強度の日変化を比較すると、磁気正午ではなく地方時の正午付近に最大値が現れる。これと夏半球で放射が強まる事実とを考え併せると、日照の著しい電離層の下では、地上電磁放射強度が高まることになる。750 Hz 帯電磁放射の日変化を、週日と週末(土、日)に別けて、7 年間の平均を求め、比較したところ、週日に比べ週末の放射強度が約 8% 低下することがわかった。これは産業社会の活動度が低下する週末には、地上から磁気圏に洩れこむ電磁雑音レベルが低下し、その影響を受けて磁気圏電磁放射強度も低下するためと考えられる。

1. はじめに

地球は地上 80-300 km に存在する電離層で取り囲まれており、その外側の磁気圏ではULF~

¹国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

²金沢大学工学部, Faculty of Engineering, Kanazawa University, Odatuno, Kanazawa 920-8667.

³Science Institute, University of Iceland, Dunhaga 5, Reykjavik, IS107, Iceland.

HF帯に至る電磁波動が発生している。一方電離層の下の大気圏には、雷放電から発生するULF~VLF帯の電磁波や人間社会が発するELF~SHF帯の電磁波（通信、放送、電力線からの放射など）が飛び交っている。電離層はそこでの最大電子密度で決まる臨界周波数以上の高い周波数成分を通過させ、低い周波数成分は反射させることにより、地球上の電磁環境の形成に大きな役割を果たしている。このような電波星「地球」の電磁環境を監視するのに極地、特に南極は非常に適している。その理由は次のとおりである。(1) 人工的雑音で地球上で最も少ないため、高感度の観測が行える。(2) 磁気圏で発生する電磁波の多くは磁力線に沿って伝搬しやすい性質があり、磁力線の根元である極域に集中しやすい。(3) 地球上の雷の3大発生域であるアメリカ大陸、東南アジア、アフリカからのグローバルな伝搬路（大圏コース）は南極大陸で交わるため、南極大陸は全地球的な雷活動の監視に適す。(4) 人間社会が発する電磁波については、その発生源近くは局所的な影響が強すぎ、全地球的な強度の監視に不適である。すべての人間活動域から等しく離れた地域として、南極域は適当である。

極域ではIGYの頃からELF/VLFを始めとする電磁波動の長期観測が行われてきており、地球電磁環境の変化の検知に関する幾つかの興味有る報告がなされている。例えば、南極ハレーベイ基地において、主として雷放電に起因する9.3 kHzの電磁波強度を長期観測したところ、1971-1995年の期間において、その強度は年率0.5 dBで単調に増大し続けている(Smith, 1997)。これは地球全球平均温度が年率約0.02°C上昇することに伴い、雷活動が指数関数的に増大していることを反映していると考えられる。また、南極サイプル基地で1973-1975年に観測された2-4 kHz電磁放射強度の統計によれば、日曜日に受信される電界強度は、他の曜日に受信される電界強度に比べ約20%低下する、と報告されている(Park and Miller, 1979)。これはサイプル基地の地磁気共役点、カナダ、ケベック州の送電線から放射される電磁雑音が磁気圏に浸透し、そこでの電磁放射の発生に影響を及ぼしており、電力消費が低下する日曜日には、磁気圏で発生する電磁放射強度も低下すると理解されている。

本研究では南極昭和基地と、その地磁気共役点であるアイスランドにおける電磁放射強度の過去10数年にわたる観測データを基に、極地から見た地球電磁環境レベルと、その時間変動を明らかにする。この電磁環境レベルは宇宙圏、大気圏、人間社会から到来する電磁波が混在したものから成り立っており、それぞれは太陽活動度の変化、電離層の日照変化、人類の産業活動など、その成因に由来する固有な周期の時間変動を示す。これらの特徴的な時間変動特性を調べることにより、地球をとりまく電磁環境要素の理解を深めることができる。

2. 観測システムと長期データの処理方法

南極昭和基地では1982年以来、今日まで10チャンネルのELF/VLF帯の電磁波強度(0.35, 0.75, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 90 kHz, サンプリング周期2秒)の観測が続けられている。一方、アイスランドでは同様の観測が1984年以来、続けられている。昭和基地の電磁波動観測システムの

詳細については例えば Yamagishi *et al.* (1987), アイスランドの観測システムについては佐藤ら (1985) を参照されたい。

地球電磁環境の固有周期の中には太陽活動の 11 年周期といった非常に長期のものがあり、これらの統計処理にあたり、オリジナルデータ (2 秒値) は膨大すぎるので、これを 1 時間積分した中間ファイルを作成した。中間ファイル作成にあたっては、物理量への変換 (検波出力電圧→電界強度 $V/m\sqrt{Hz}$) を行った後、四つの平均化法 (単純平均, ピークホールド, 最低値検波, LPF 後サンプリング) の中から一つの方法を選んで平均化するようにした。また、信号の性質を示すものとして、平均値とともに分散も求めた。そして、これら 1 時間値の中間ファイルをデータベース化した。以後、すべての統計は、このデータベースを基に行った。昭和基地で観測される電磁波強度の変動には地球電磁環境を構成する電磁波源の性質を反映した様々な周期の時間変動が含まれるため、1 日、1 週間 (産業活動の周期)、27 日 (太陽の自転周期)、1 年 (季節変化)、11 年 (太陽活動周期) などの時間スケールで表示が行えるプログラムを作成した。

昭和基地と同一の磁力線で結ばれている北極域アイスランドでの観測データについても、昭和基地と同様のデータベース化処理を行った。様々な周期の時間変動成分の特性について、南極域と北極域の比較を行い、その地理的・地磁氣的・電磁環境的条件の違いによる影響を考察することにする。

本研究では ELF ヒストと呼ばれる現象が発生する 750 Hz 帯を中心に解析を行った。これより高い周波数 (例えば 8 kHz 以上) についてはオーロラヒストと呼ばれる現象が関連するが、これらの解析については、今後の研究課題とする。

3. 太陽活動度依存性

Sato *et al.* (1991) は南極昭和基地、及びその地磁気共役点であるアイスランドで観測された 750 Hz 帯電磁放射の長期 (1981 年から 1988 年) 観測データを統計的に解析し、図 1 に示される結果を得た。昭和基地 (上段)、アイスランド (下段) とともに顕著な季節変化があるが (4 章にて後述)、その包絡線をとると、1982-1983 年を最大とし、1987 年を最小とする年々変化が認められる。これは、Solar cycle 21 の太陽活動変化 (1981-1982 年が極大、1985-1986 年が極小) と比べると、約 1 年の遅れはあるものの良く似た変化を示しており、極地で観測される 750 Hz 帯電磁放射強度は太陽活動を反映するらしいことがわかる。われわれは、この解析期間を 1995 年まで延長し、750 Hz 帯電磁放射の太陽活動度依存性を更に詳しく調べた。その結果を図 2 に示す。図中、上段は昭和基地で観測された夏季の 750 Hz 帯電磁放射強度平均値の年々変化を示し、下段は 10.7 cm 太陽電波強度で見た Solar cycle 21 から 23 までの太陽活動変化を示す。黒丸 (1981 年から 1987 年) は Sato *et al.* (1991) 論文の図から求めたものであり、白丸 (1988 年から 1995 年) は今回求めたものである。今回求めた放射強度はあらかじめ 1 時間平均値を求

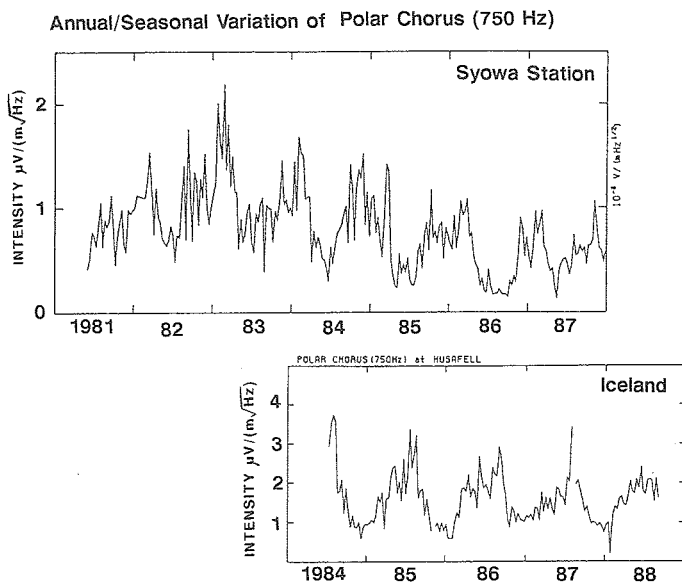


図1 昭和基地 (上段) とアイスランド (下段) で受信された 750 Hz 電磁放射強度の年々変化。1982-1983 年を最大とし、1987 年を最小とする経年変化が認められる。また互いに逆位相の季節変化があり、両地点とも夏に放射強度が上昇する (Sato *et al.*, 1991 より)。

Fig. 1. Long-term variation of ELF emission intensity in the 750 Hz band observed at Syowa Station (upper panel) and Husafell, Iceland (lower panel) in the period 1981-1988. Take notice of the long-term variation showing a maximum in 1982-1983 and a minimum in 1987. Also note that there was a seasonal variation opposite in phase at the conjugate stations, i.e., the emission intensified in the summer hemisphere (after Sato *et al.*, 1991).

めた後、年平均を求めるなど、平均の方法が違うため、Sato *et al.* (1991) から求めたものに比べ、全般に低い値となっている。しかし、放射強度と太陽活動度変化の相似性、放射強度の極大が太陽活動度の極大より約 1 年遅れて変化するという特徴 (図中、それぞれの極大を示す矢印参照) は、Solar cycle 21, 22 を通じて確認された。地磁気擾乱の年々変化も太陽活動度依存性を示し、その極大は太陽活動度の減少開始期 (declining phase) に起こることが知られているが、この地磁気擾乱の変化特性は、750 Hz 帯放射強度の変化と良く似ている。このことから 750 Hz 帯放射は、地磁気擾乱に伴い放射線帯外帯で増大する高エネルギー電子群から発生するホイッスラーモード波動であることが推測される。今後、750 Hz 帯放射強度、地磁気擾乱度指数、放射線帯外帯高エネルギー電子束の太陽活動度依存性を相互に比較し、この点を確認したい。

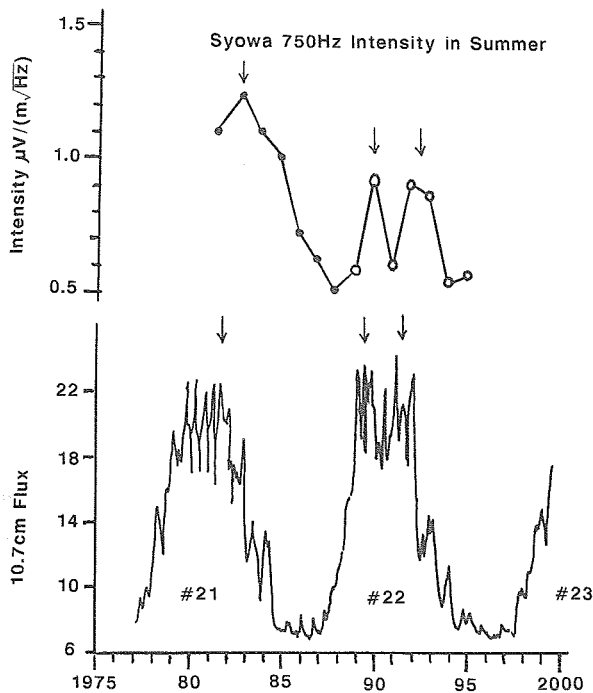


図2 昭和基地で受信された夏季の750 Hz 電磁放射強度平均値の年々変化 (上段) と 10.7 cm 太陽電波強度で見た Solar cycle 21 から 23 までの太陽活動度変化 (下段). 上段の黒丸は Sato *et al.* (1991) から求めたもので, 白丸は本研究で求めたもの. 矢印で示すように, 電磁放射の極大は太陽活動度の極大より約 1 年遅れている.

Fig. 2. Year by year variation of ELF emission intensity in the 750 Hz band observed at Syowa (upper panel), and solar activity variation observed by solar radio wave emission at 10.7 cm (lower panel) for solar cycles 21 to 23. In the upper panel, solid circles are obtained from Sato *et al.* (1991), while open circles are obtained from this work. Note that the maximum of the emission intensity was delayed from that of the solar activity by about 1 year as shown by the arrows.

4. 電離層の日照効果

— 共役点における放射強度の日変化と季節変化 —

昭和基地やアイスランドでの電磁放射強度の日変化を調べると, 昼間を中心とする極大が見られる. この極大は磁気圏の赤道面付近で発生する ELF ヒスと呼ばれる電磁波動によるものであり, もしこの電磁波動が磁力線に沿って両極に到達するならば, 地磁気共役点では全く同一の日変化が観測されるはずである. そこで, 昭和基地とアイスランドにおける 750 Hz 帯電磁放射強度の日変化を 1991 年の一年間平均し, 比較した (図 3). 両者は昼間の大きな極大 (ELF ヒス) と夕方~夜の小さな極大 (オーロラヒス) から成る点は相似的であるが, 昼間の極大については, アイスランドの方が昭和基地よりも 2 時間半遅れて出現している. この時間遅れは,

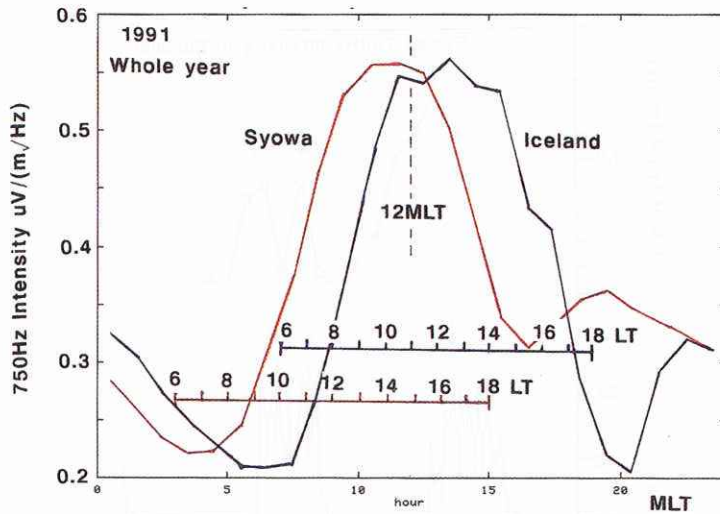


図3 昭和基地とアイスランドで受信された750 Hz電磁放射強度の日変化を1991年の1年間にわたり平均したもの。昭和基地に比べアイスランドの地方時は4時間遅れている(図中の地方時目盛参照)。

Fig. 3. Averaged daily variation of 750 Hz intensity observed at Syowa Station and Iceland in 1991. Local time at both stations is shown in the figures (upper: Iceland, lower: Syowa Station). Local time at Iceland is delayed from Syowa Station by 4 hours.

アイスランドの地方時が昭和基地に比べ4時間遅れていること(図中の地方時の目盛参照)と関係があらう。両地点の強度分布を重ね合わせると、磁気地方時の正午(12 MLT)を中心とする分布となり、これは発生域(磁気赤道面)におけるELFヒスの強度分布に類似したものとなっている。一方、地上で観測される強度分布は、図3で示される通り、昭和基地は午前側へ、アイスランドは午後側へずれを生じ、ともに地方時の13時付近が分布の中心となっている。これは磁気圏で発生した電磁波が電離層を透過するにあたり、その地点の地方時正午以降すなわち電離層が十分太陽で照らされ、F層電子密度が極大となる時間帯において放射強度が極大になると換言できる。

3章の図1で触れた放射強度の季節変化も、同様な観点から考えることができる。図1に見られる昭和基地とアイスランドの750 Hz帯電磁放射強度は互いに逆位相の季節変化を示し、夏半球で放射強度が強まるのがわかる。すなわち、太陽日照が強い夏半球では、太陽日照が乏しい冬半球に比べ地上の放射強度が大きくなっているわけである。

共役点での放射強度日変化、季節変化に共通に見られた太陽日照との関係から、次のことが推測される。「電離層への太陽日照が強まり電子密度が増大すると、磁気圏で発生した電磁波の地上への透過率が高くなる。その結果、地上で観測される放射強度が大きくなる」。地球上の電磁環境にとって、地球を取り囲む電離層は、地上や大気圏で発生した電磁波を閉じ込めたり、宇宙からの電磁波を遮ったりするなど、非常に大きな役割を果たしているが、その役割(透

過, 反射) は太陽日照により大きく支配されている可能性がある。太陽日照, 及びそれに伴う電離層電子密度上昇により, 磁気圏電磁放射が地上へ透過しやすくなる機構については6章で検討する。

5. 週末における放射の減少

Park and Miller (1979) によれば, 南極サイプル基地で 1973-1975 年に観測された 2-4 kHz 電磁放射強度を統計すると, 日曜日に受信される電界強度は, 他の曜日に受信される電界強度に比べ約 20% 低下すると報告されている (図 4a), これはサイプル基地の地磁気共役点, カナダの送電線から放射される電磁雑音が磁気圏に浸透し, そこでの電磁放射の発生に影響を及ぼしており, 電力消費が低下する日曜日には, 磁気圏で発生する電磁放射強度も低下すると理解

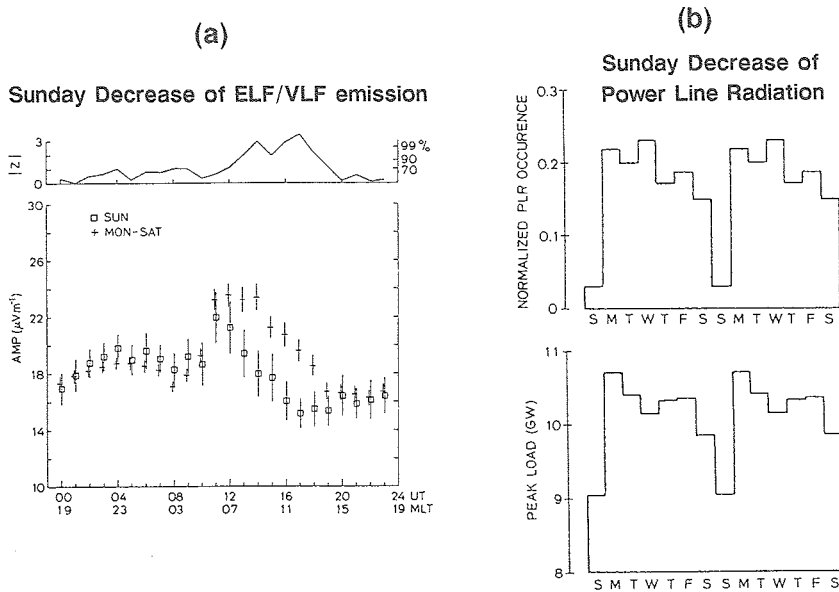


図 4 (a) サイプル基地で 1973-1974 年に受信された 2-4 kHz 電磁放射強度の日変化を日曜 (□) と月~土曜 (+) に分けて平均したもの。放射強度が高い磁気地方時 06-14 MLT において, 日曜の受信強度が月~土曜の受信強度に比べ 20% 程度低くなっている。(b) サイプル基地で観測された電力線高調波放射の発生頻度 (上段) とカナダ, ケベック州の電力消費量 (下段) を曜日 (日曜から翌週土曜までの 2 週間) についてプロットしたもの (Park and Miller, 1979 より)。

Fig. 4. (a) Daily variation of the emission intensity in the 2-4 kHz band observed at Siple Station, Antarctica in 1973-1974. The square mark (□) denotes the variations for Sundays, and the plus mark (+) for weekdays. The intensity was smaller for Sundays during 06-14 MLT by about 20%. (b) Upper panel shows weekly variation of the occurrence rate of the power line harmonic emissions observed at Siple Station, and the lower panel the power consumption in Quebec, northern Canada (after Park and Miller, 1979).

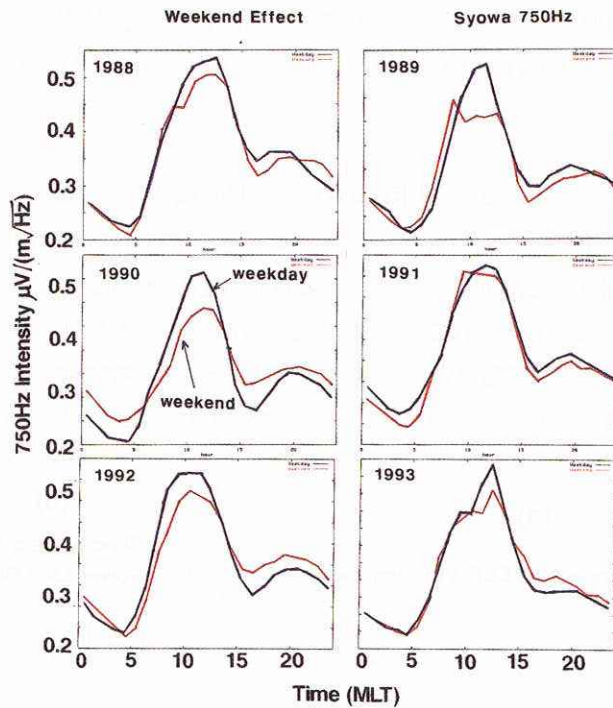


図5 1988年から1993年まで、昭和基地の750 Hz帯放射強度の日変化を週日(月~金曜)と週末(土、日曜)に分けて別個に1年平均し、比較したもの。磁気地方時8時から13時の間において週末の方が放射強度が弱まる傾向がある。

Fig. 5. Comparison of the daily variations of 750 Hz intensities observed during weekdays and weekends at Syowa Station for each year in 1988-1993. The intensity in 8-13 MLT tends to be smaller on weekends.

されている(図4b)。同様な変化が昭和基地で観測される750 Hz帯電磁放射にも認められるかを調べた。最近では世界的に週休2日制となっているので、放射強度の日変化を週日(月~金曜日)と週末(土、日)に分けて別個に統計し、比較を行った。図5は1988年から1993年まで、1年間づつの平均を求めたものである。年によりばらつきが有るが、ポーラーコースが強まる磁気地方時8時から13時の間で週末の方が放射強度が弱まる傾向がある。7年間分の統計を行ったところ(図6)、明瞭に週日と週末の差異が現れ、週末の方が約8%放射強度が低下している。これはサイプル基地で確認された日曜日の電磁放射強度の低下(図4a)20%に比べると微弱である。その原因として留意したいことは、サイプル基地と昭和基地との電磁環境の差異である。サイプル基地の地磁気共役点は電力消費の大きいカナダ、ケベック州であり、一方、昭和基地-アイスランドを結ぶ磁気子午面には大きな電力消費地が存在しない。図7はAriel 3, Ariel 4衛星により得られた3.2 kHz電磁放射($>5 \times 10^{-16} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$)の発生頻度分布図である(Bullough, 1983)。大電力消費地である北米大陸、ヨーロッパの上空、及びその地磁気共役領域では、電磁放射現象の発生頻度が高くなっており、大電力消費地から放射される電磁雑音

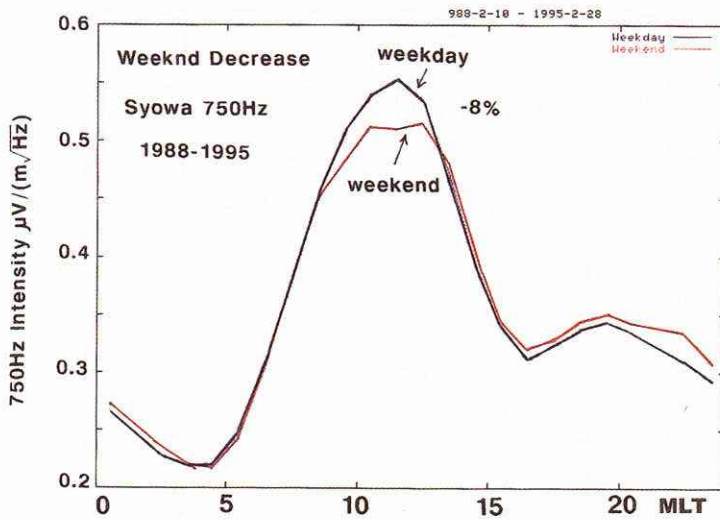


図6 昭和基地の750 Hz帯放射強度の日変化を週日(月~金曜)と週末(土,日曜)に分けて,1988年から1995年までの7年間平均したもの。放射強度が極大になる磁気地方時8時から13時の間において,週末の方が約8%低くなる。

Fig. 6. Daily variation of 750 Hz intensities observed at Syowa Station in 1988-1995 for weekdays and weekends. The intensity was smaller for weekends by about 8% in 8-13 MLT, where the emissions show a maximum.

が磁気圏電磁放射の発生を促すことが推測される。図中にマークした通り,サイプル基地は,この大電力消費地の周辺に位置しているが,一方,昭和基地,アイスランドは電力消費が最も少なく,3.2 kHz電磁放射で見ても発生頻度が最も低い地域に属している。週末における放射強度の低下率がサイプル基地では20%であったのに比べ,昭和基地では8%に過ぎないことは,両基地が置かれた電磁環境の違いを反映していると考えられるが,電力消費が極めて少ない昭和基地-アイスランド磁気子午面において,明瞭な週末効果が確認されたことは注目に値する。産業社会からの電磁雑音の影響が電力消費の多い地域の子午面内に留まらず,磁気圏内に広く及んでいることを推測させるものである。

750 Hz以外の電磁波周波数について,放射強度の週末効果を調べたところ,350 Hzでは顕著な変化が見られず,2 kHzでは明瞭な週末効果が見られた。また,地磁気共役点であるアイスランドでは週末での放射強度の低下は見られず,むしろ放射発生時間帯がずれる傾向が見られた。これは,アイスランドは,巨大な電力消費地,北米大陸とヨーロッパにはさまれており,両者の週末開始の時間差(5時間)が,週末における放射発生時間帯のずれの一因であると推測される。

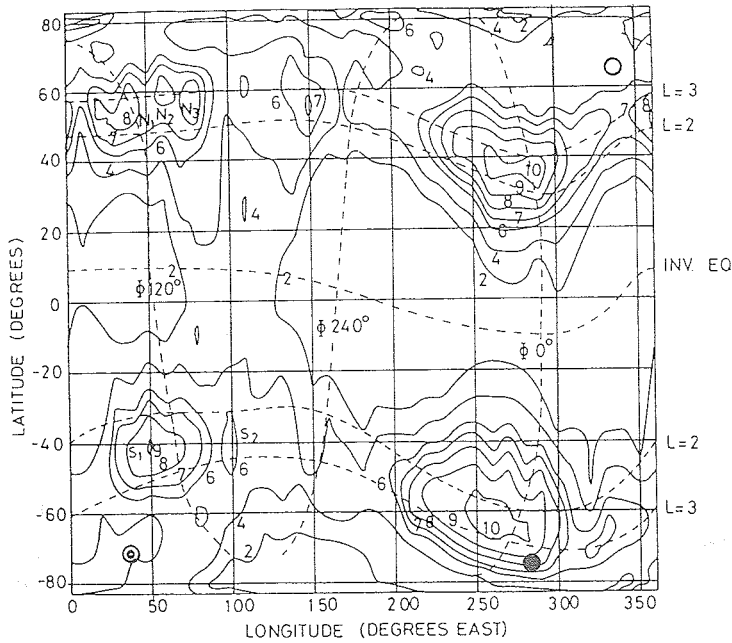


図7 Ariel 3, Ariel 4 衛星により得られた 3.2 kHz 電磁放射 ($>5 \times 10^{-16} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$) の発生頻度分布図 (Bullough, 1983 より). 大電力消費地である北米, 欧州上空, 及びその地磁気共役領域では, 電磁放射現象の発生頻度が高くなっている. 図中に昭和基地 (◎), アイスランド (○), サイプル基地 (●) の位置を示す.

Fig. 7. Global occurrence map of 3.2 kHz emission intensity ($>5 \times 10^{-16} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$) observed by Ariel 3 and 4 satellites (after Bullough, 1983). Note that the occurrence rate is high over areas of high power consumption such as northern America and Europe, and their geomagnetic conjugate areas in the southern hemisphere. Locations of Syowa Station (◎), Iceland (○), and Siple Station (●) are marked in the figure.

6. 地上放射強度に対する電離層日照効果についての考察

昭和基地上空での ISIS-1, 2 衛星の VLF 波動観測の統計結果によれば, 衛星高度 (1400-3500 km) においても地上と同様に, 日照 (夏) 半球の放射が強いことがわかっている (Yamagishi, 1989). 従って日照効果により電離層電子密度が上昇し, 地上へ電磁放射が透過しやすくなる機構は, 電離層自身が主役ではなく, 電離層~磁気圏下部にわたる電子密度の上昇が電波伝搬に及ぼす影響を中心に考える必要がある. Yamagishi (1989) によれば, 磁気赤道面で発生し, 極域上空に至る 1.5 kHz 帯波動を様々な伝搬ベクトルの初期値についてレイトレーシング計算すると, 大半のケースは LHR 反射を起こし, ISIS 衛星高度までは到達できない (図 8a). 磁気赤道面での初期伝搬ベクトルが適量地球側を向いているケースだけが極域電離層高度まで到達できる (図 8b). このようなレイパスの伝搬ベクトルが高度とともにどのように変化するかを調べると, 図 9a, b に示すように, 地球に近づくにつれ伝搬ベクトルは磁場と直交方向

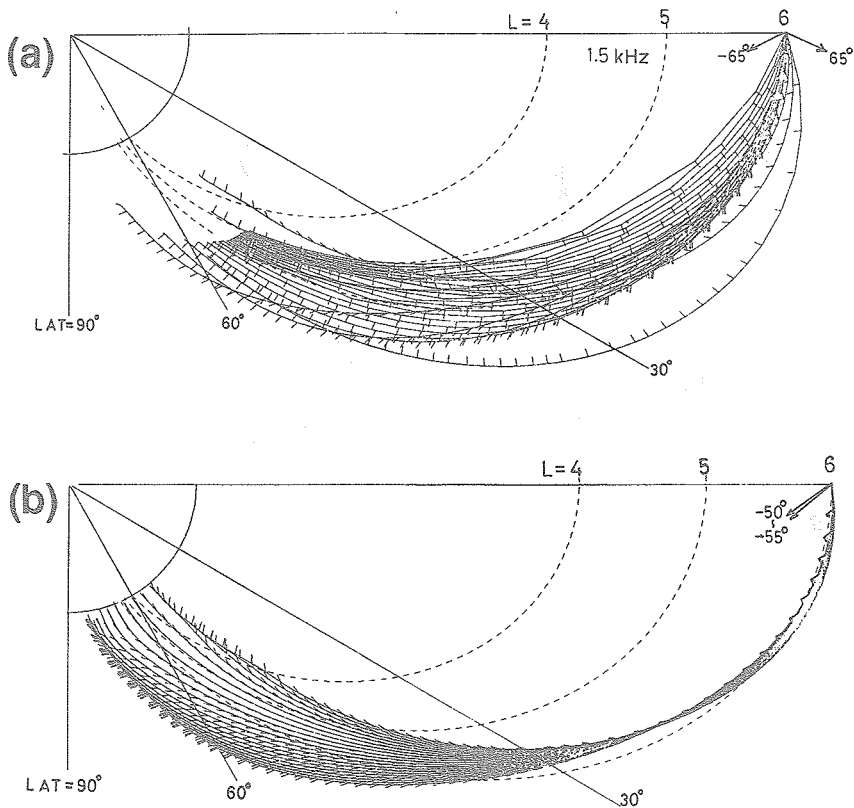


図 8 (a) LHR 反射のため、極域まで到達できないレイパス。(b) 適切な初期伝搬ベクトルにより、LHR 反射を起こさず極域電離層まで到達できるレイパス。波動の周波数は、いずれも 1.5 kHz (Yamagishi, 1989 より)。

Fig. 8. (a) Ray passes of 1.5 kHz waves started from the magnetic equatorial plane, and inaccessible to the polar ionosphere due to LHR reflection. (b) Ray passes of 1.5 kHz waves accessible to the polar ionosphere without suffering from LHR reflection (after Yamagishi, 1989).

($\psi=90^\circ$) に接近するが、磁気圏下部 (高度 3000 km 付近) から電離層にかけての電子密度勾配の急増 (図 10) により、伝搬ベクトルは再び磁力線に沿う方向 ($\psi=0^\circ$)、あるいは、電離層に垂直になる方向へ引き戻される。この引き戻される度合いは日照 (夏) 半球 (図 9a) の方が、日陰 (冬) 半球 (図 9b) に比べ著しいため、日照半球側では、磁気赤道から極域電離層に到達できるレイパスが増大し (初期伝搬ベクトルの角度範囲で表現すると、日照半球では 3.5° 、日陰半球では 2.75°) 放射強度の増大をもたらすと考えられる。以上は 1.5 kHz におけるレイパス計算結果であるが、本研究で対象にした 750 Hz においても、ほぼ同様の計算結果が得られる。

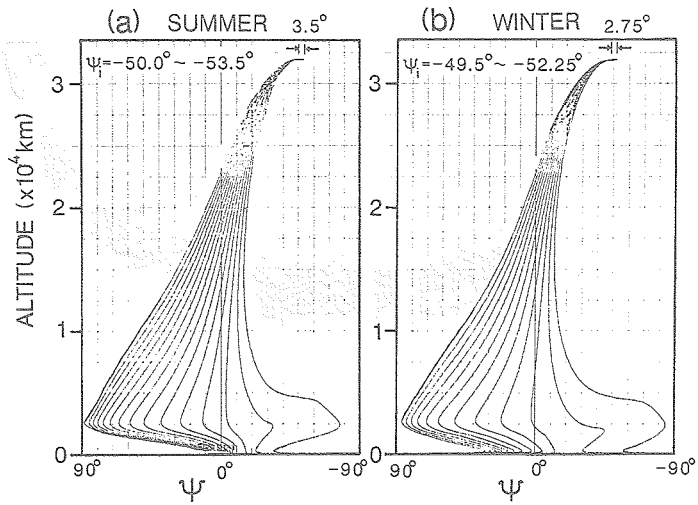


図9 極域電離層まで到達できるレイパスに関する伝搬ベクトルの高度変化。

(a) 日照(夏)半球の場合。(b) 日陰(冬)半球の場合 (Yamagishi, 1989より)。

Fig. 9. Altitude variations of the wave normal angles of ray passes accessible to the polar ionosphere for (a) summer hemisphere and (b) winter hemisphere (after Yamagishi, 1989).

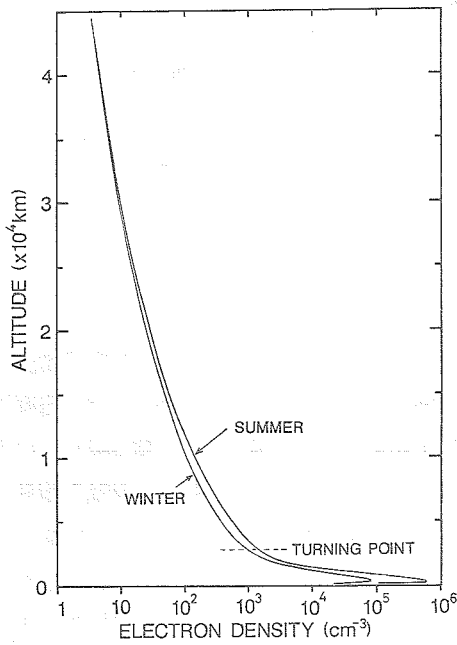


図10 レイトレーシング計算に用いた日照(夏)半球と日陰(冬)半球の電子密度モデル(高度変化) (Yamagishi, 1989より)。

Fig. 10. Model profiles of electron densities for summer and winter hemispheres used in the ray path calculations (after Yamagishi, 1989).

7. ま と め

過去 10 数年にわたる南極昭和基地、及びその地磁気共役点であるアイスランドでの 750 Hz 帯電磁放射強度の時間変動を解析した結果、以下のことが得られた。

- (1) 太陽活動度 (Solar cycle 21, 22) に対応した放射強度の経年変化が確認された。
 - (2) 磁気地方時は同一だが、地理的地方時が 4 時間ずれる昭和基地-アイスランド共役点での放射強度日変化を比較したところ、磁気圏の発生源では磁気地方時正午を中心に広がる放射強度の分布が、地上観測点においては、昭和基地では朝側に、アイスランドでは午後側にずれた時間にピークが出現した。このずれたピーク位置は、両地点の正午以降になることから、太陽日射による電子密度上昇が最大となる時間帯で電磁波動が最も地上へ透過しやすくなることが推測される。
 - (3) 同様なことは太陽日照の盛んな夏半球の地上観測点の方が、太陽日照の乏しい冬半球の地上観測点よりも放射強度が強まるという季節変化にも見られる。
 - (4) 7 年間の昭和基地 750 Hz 帯電磁放射の日変化を、週日と週末 (土、日) に別けて統計したところ、放射が最大となる正午付近の時間帯で、週日に比べ週末の放射強度が 8% 低下することがわかった。これは産業社会の活動度が低下する週末には、地上から磁気圏に洩れこむ電磁雑音レベルが低下し、その影響を受けて磁気圏電磁放射強度も低下するためと考えられる。商用電力の消費が少ない昭和基地-アイスランド磁気子午面においても、このような結果が得られたことは、産業社会からの電磁雑音の影響が電力消費の多い地域の子午面内に留まらず、磁気圏内に広く及ぶことを予想させる。
- (2), (3) の特性は、ともに日照電離層の下で放射強度が強まることを示しており、その機構として日照による電離層-磁気圏下部の電子密度勾配増大が磁気圏放射の伝搬にもたらす収束効果 (レンズ効果) を提案したい。

謝 辞

本研究で使用した昭和基地、アイスランドの ELF/VLF 強度データは、国立極地研究所情報科学センターで編集、作成された 12 インチ光ディスクより国立極地研究所オーロラデータセンターがパソコンで読める形式の CD へ変換したものを頂いた。この使用にあたりお世話いただいた門倉助手に感謝します。

また、オリジナルの ELF/VLF 強度データを編集、データベース化し、解析する作業については、平成 11 年度~13 年度の文部科学省科学技術振興調整費による地域先導研究「地域産業の発展に寄与する電磁波技術に関する研究」の経費により行われた。

文 献

- Bullough, K. (1983): Satellite observations of power line harmonic radiation. *Space Sci. Rev.*, **35**, 175-183.
- Park, C.G. and Miller, T.R. (1979): Sunday decrease in magnetospheric VLF wave activity. *J. Geophys. Res.*, **84**, 943-950.
- 佐藤夏雄・福西 浩・国分 征・荒木 喬・Saemundsson, Th. (1985): 1984年アイスランドにおけるオーロラ現象の共役点観測報告. *南極資料*, **87**, 78-95.
- Sato, N., Sasahara, T., Suzuki, H. and Maezawa, K. (1991): Solar influence on ELF-VLF emission observed at conjugate stations. *J. Geophys. Res.*, **96**, 11455-11460.
- Smith, A. (1997): Increase in background VLF noise: A signature of global warming? *BAS Annual Rep.*, **1995-96**, 98-99.
- Yamagishi, H. (1989): ELF emissions in high latitudes — Ray path calculation and ground-satellite observations. *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Ser. A (Upper Atmos. Phys.)*, **19**, 120 p.
- Yamagishi, H., Ayukawa, I., Matsumura, S., Sakurai, H. and Sato, N. (1987): Upper atmosphere physics data, Syowa Station, 1985. *JARE Data Rep.*, **128** (Upper Atmos. Phys. 5), 272 p.

(2002年1月8日受付; 2002年1月21日改訂稿受理)