

## 3-3 シベリア域からのリアルタイム地磁気データの収集と活用 —PURAES計画—

### 3-3 *Real-Time Geomagnetic Data Acquisition from Siberia Region and its Application —PURAES Project—*

國武 学 石橋弘光 長妻 努 菊池 崇 亀井豊永

KUNITAKE Manabu, ISHIBASHI Hiromitsu, NAGATSUMA Tsutomu, KIKUCHI Takashi, and KAMEI Toyohisa

#### 要旨

宇宙天気予報において地磁気擾乱の把握は必要不可欠である。磁気圏から電離圏へのエネルギーの主要部分が入ってくる極域は、特に重要である。極域に展開された地磁気観測点が、その様相の解明に有効であるが、そのデータが準リアルタイムで収集されることが、予報のための現況把握・動向予測には肝要である。データ収集の空白域となっていたシベリア域での地磁気観測点の磁力計の更新とデータ伝送機器の設置を目指したPURAES計画(Project for Upgrading Russian AE Stations)を推進し、2002年夏に4観測所からの準リアルタイムデータ収集を実現した。

準リアルタイムデータを用いると、極域地磁気活動を表す指数であるAE指数のより速い算出と質の向上がなされる。それ以外にも、データ利用の応用範囲は広く、研究面・実用面での有効利用が進むことが期待される。

Monitoring and nowcasting of geomagnetic disturbance is necessary for conducting space weather forecast. As the energy from the magnetosphere flows into the ionosphere mainly concentrates on the polar region, it is important to watch the polar region. Developing geomagnetic observation points in the polar region and acquiring data in near real-time way are essentially effective for nowcasting and forecasting. Siberia is a missing region concerning near real-time data acquisition. PURAES Project (Project for Upgrading Russian AE Stations) has been conducted to upgrade magnetometer and set near real-time data transmission instrument in observatories in Siberia. In summer 2002, near real-time data acquisition from four observatories have been accomplished. AE index is the index which represents the geomagnetic activities in the polar region. Near real-time data acquisition contributes to that the AE index becomes better in its quality and quicker in its calculated output. Moreover, near real-time data is useful for various space weather forecasting application.

#### [キーワード]

地磁気観測, 準リアルタイムデータ収集, PURAES計画, シベリア域, AE指数, 地磁気擾乱

Geomagnetic observation, Near real-time data acquisition, PURAES project, Siberia region, Auroral Electrojet index, Geomagnetic disturbance

## 1 はじめに

宇宙天気予報にとって重要である磁気圏内のエネルギー蓄積過程と極域への流入過程を研究し、予報に活用するためには、地球全域をカバ

ーするグローバルな地磁気変動観測を実施し、準リアルタイム収集により現況を把握することが必須である。

磁気圏・電離圏に流れる電流は、磁気圏の構造やダイナミクスを知る上で基本的な情報であ

る。地球磁気圏は太陽風との相互作用により形成され、その中で各種電流系が形成されている。地磁気嵐やサブストーム(極磁気嵐)と呼ばれる地磁気活動の擾乱時には、一部の電流系が非常に発達する。その様相は非一様であり、電流の空間分布とその時間変化を知るためには、電流が作る磁場変動を多点で観測することが有効である。人工衛星での磁場観測は観測点の位置・数が限られており、地球上にグローバルに配置された地磁気観測点が重要な役割を担っている。

現況把握・動向予測のためには、観測されたデータができるだけ速やかに伝送・収集され、解析・応用されることが肝要である。地磁気データ及びそこから算出された各種地磁気活動度指数は、他の物理量を推定するための入力値としても利用される。研究面においては、例えば、理論やシミュレーションで予測された結果と実際の観測データとの比較により、検証のターンアラウンドタイムが飛躍的に短縮できることで、研究の進展を早められる。社会的に地磁気活動の現況把握・推移予測が必要な例としては、誘導電流による影響、大気加熱による影響等があげられる。誘導電流について、極域電離圏に流れる電流の急激な変化は、著しい場合、極域の送電線、パイプライン、海底ケーブル等に異常な誘導電流を引き起こす。これを Geomagnetically Induced Current (GIC) という。異常に強い誘導電流は特に送電システムのトランス部分に悪影響を起こす。1989年3月、カナダケベック州の大停電を引き起こしたのはその一例である。大気加熱については、電流の引き起こすジュール加熱による電離圏・熱圏加熱が重要である。電流量が非常に大きい場合には、この加熱による大気膨張の影響が出てくる。高度を固定して考えると、大気加熱により、そこでの大気密度が増加することになる。これは、その高度を通る物体に対する大気の摩擦が増加することを意味する。低軌道の人工衛星やスペースデブリの軌道変化が引き起こされる。そのほか、熱圏加熱は電場の急激な変動とともに電離圏嵐の原因となる。電離圏嵐は短波通信の使用可能周波数を低下させる。このように準リアルタイムでの地磁気データの取得とその速やかな活用が宇宙天気研究・予報に望まれてきた。

極域電離圏は、磁気圏からのエネルギーが集中して入ってくる領域である。GIC、熱圏大気膨張、電離圏嵐のソース領域である。なかでもサブストーム時には電流が急激に増加し、その分布も急激に変化する。これを、適確かつ簡便に把握する工夫が必要とされてきた。地磁気変動を指数で表現することが有効である。極域において経度方向にできるだけ均等に配置された12観測点の地磁気変動を用いて、極域電離圏を流れる大規模な電流系の発達・変動・衰退を表すべく考案された指数が、AE指数である[1] (詳細は3で説明する)。このAE指数を安定に、できるだけリアルタイムに近いタイミングで求めることが望まれてきたが、シベリア域がその空白域となっていた。これを克服すべく、立ち上がった計画がPURAES計画(Project for Upgrading Russian AE Stations)である。

本報告では、第1期設置計画が完了したPURAES計画を中心として、地磁気データの準リアルタイム取得・活用について説明する。収集に関して、PURAES計画で使用している伝送方法(INTERMAGNETシステム)についても簡単に述べる。活用に関しては、AE指数及びその準リアルタイム指数化の有用性を中心として説明する。

なお、本報告では極域に焦点を絞った。地磁気嵐を表す指標としてのDst指数、磁極近くの観測点の地磁気変動から導出されるPolar Cap (PC)指数については、参考文献[2][3][4]を参照していただくこととし、ここでは省略する。

## 2 準リアルタイムデータ収集

国内外の観測機関、研究機関でデータをwebでプロット表示しているところが出てきている中で、自前でデータを収集する意味は何であろうか。それは、単に現象をモニタリングすることにとどまらず、入手したデジタルデータを分析し、加工し、新たな物理量や特徴を抽出することにより、生データのままで見えていない情報を導き出すことにある。さらに、宇宙天気予報にとっては、現況把握・今後の動向予測のためには、リアルタイム性が要求される。つまり、データの高度利用・応用を即時性をもつ

て実現するためには、自前の準リアルタイムデータ収集が必要なのである。

通信総合研究所(CRL)でのこれまでの地磁気データ準リアルタイム収集の概要については、1997年に石橋ら[5]により、2000年に長妻ら[6]により報告されてきたので、ここでは、簡単な記述にとどめる。

## 2.1 INTERMAGNET

INTERMAGNET[7]は、世界に点在する地磁気観測所の迅速なデータ交換及び地磁気活動度指数の迅速な作成を目指した国際共同プロジェクトであり、1980年台後半に組織された。データ伝送は主として気象衛星を介した方法を用いる。地磁気観測所には、Data Collection Platform (DCP) が設置され、この装置により観測データ(1分値)は気象衛星へ向け準リアルタイムで送信される。気象衛星で中継されdownlinkされたデータは、地域ごとにGeomagnetic Information Node (GIN) に集積される。GINは、データ収集とともにデータの配布も行う。この方法によれば、僻地にある観測所からも準リアルタイムで安定した伝送が可能となるわけである。参加地磁気観測所については、精度0.1nT、一週間に一回は絶対値測定を行うこと等の観測及び記録・伝送の基準を満たすことが要件となっている。これによりデータの質も高品質に維持されることになる。参加観測所数は80(2001年時)である。GINは世界に6か所あり、CRLはその一つを担っている。

日本では、CRL、京都大学地磁気世界資料解析センター、気象庁柿岡地磁気観測所が参加している。日本がカバーしている収集域は、気象衛星ひまわり(GMS-5)によるデータ伝送が可能な範囲である。気象衛星ひまわりを介した伝送については、CRLと気象庁との間で覚え書きを取り交わし、気象庁観測部及び気象庁衛星センターの協力を受けている。柿岡(地理緯度36.23°N、地理経度140.18°E、[以下、他の観測所も地理座標で示す。なお、日本の地理緯度・経度は世界座標を使用。])、女満別(43.90°N、144.20°E)、Dumont d'Urville(66.67°S、140.01°E)、Amsterdam Is.(37.80°S、77.57°E)、Alibag(18.63°N、72.87°E)のデータを12分ごとに収集

している。Vostok(78.45°S、106.87°E)については、観測基準にやや課題を残すものの、ひまわりを介したデータ伝送を実施している。これらに、今回紹介するシベリアの観測点群が加わる。

## 2.2 INTERMAGNET以外による地磁気データ収集

CRLでは、他機関と協力して、INTERMAGNET以外の方法でも地磁気データを収集している。それにはinternetや電話回線を用いている。詳細については、長妻らによる報告[6]を参照していただくこととし、ここではごく簡単に述べる。

観測点の位置と特徴を以下に記す。Eureka(80.0°N、274.10°E)は、北磁極付近に位置し、極冠域の電場変動をよく反映する指標であるPC指数[4]と同様の情報が得られる[8]。Yap(9.49°N、138.09°E)は磁気赤道に位置する。磁気赤道は電気伝導度が特異なことから、特殊な磁場変動を検知することができる。King Salmon(58.68°N、203.35°E)は、CRLが2001年に大型短波レーダを設置したサイトである。St. Paratunka(52.94°N、158.25°E)、平磯(36.37°N、140.63°E)、沖縄(26.75°N、128.22°E)、Guam(13.58°N、144.87°E)、Yap(9.49°N、138.09°E)は、ほぼ同じ経度ゾーンに属し、中緯度から低緯度、更には赤道までの電場侵入[9]等をモニターするのに有効である。

## 3 AE 指数

地磁気擾乱現況把握のための指数として重要なものであり、かつPURAES計画と密接な関連があるAE指数について説明する。なお、AE指数の詳細については、京都大学地磁気世界資料解析センターが発行しているData book[10]が参考となる。

### 3.1 概略

極域電離圏は、磁気圏からのエネルギーが集中して入ってくる領域である。そこでの電流の変動は、磁気圏からのエネルギー流入の変動の概略を知るための重要な情報である。極域では、時々、爆発的にオーロラ活動が発達し(auroral



breakup)、それに関連して電離圏電流が急激に増える。この電流をオーロラエレクトロジェット (auroral electrojet) 電流と呼び、これらの極域での擾乱を極磁気嵐 (サブストーム) と呼ぶ。オーロラエレクトロジェットの消長を反映する指標として AE (Auroral Electrojet) 指数が創案された[1]。指数を導出するのに用いる地磁気データは、12観測所のデータである。その観測所は、地磁気極を環状に取り巻くオーロラ帯において経度方向にできるだけ等しい間隔で分布するように選ばれている。この工夫により、どの世界時 (UT) でも、いずれかの観測所がオーロラエレクトロジェットの強い領域の近くに位置することがほぼ満たされ、AE 指数がオーロラエレクトロジェットの消長をよく反映する指標となり得るのである。

### 3.2 有用性

研究面では、AE 指数は、太陽風・惑星間空間磁場変動に対する磁気圏のレスポンスを調べる研究[11]、磁気嵐に対するサブストームの影響[12]に関する研究等々、数え上げられないほど多くの研究者に利用されてきた。

応用面でも、有用性が高い。GICの推測に有効である。静止軌道上の高エネルギー電子フラックス変動のリアルタイム予測[13]を実現するための入力としても、リアルタイム AE 指数導出が必要とされている。これら以外にも、いろいろな物理量について AE 指数との関連が調べられ、その関連の様相に基づいて様々な経験モデルが提案されている。AE 指数とある物理量の変動との関連の様相が統計的に確かなものに対して、経験モデルの入力を AE 指数とし、その物理量を出力とすることで予測を行える。予報という視点に立つと、今後、AE 指数を準リアルタイムで経験モデルへ入力して、すぐに予測をすることが増えていくと思われる。そのためにも準リアルタイムでの AE 指数の導出が切望されている。

### 3.3 導出方法

指数を求めるために利用される観測点を図1、表1に示す。なお、Cape Wellen (CWE) は1996年に閉鎖され、2001年から Pebek (PBK) (70.09° N、170.93° E) がこれに替わることとなった。

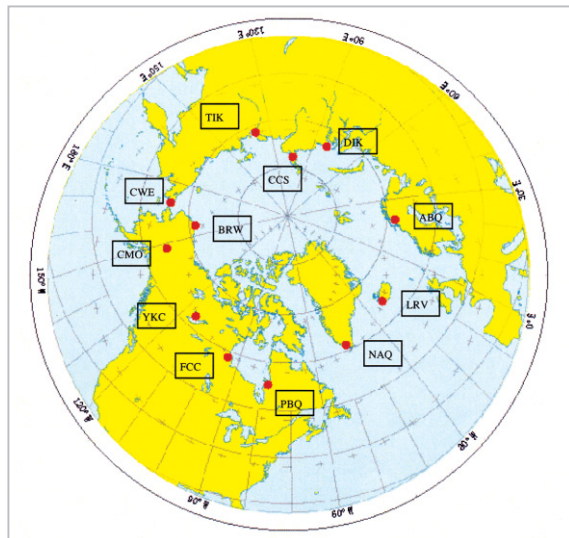


図1 AE 指数を求めるための地磁気観測点、地理座標で表示

表1 AE 指数を求めるための地磁気観測点

観測所名	略称	地理座標		地磁気座標	
		緯度(°N)	経度(°E)	緯度(°N)	経度(°E)
Abisko	ABK	68.36	18.82	66.04	115.08
Dixon Island	DIK	73.55	80.57	63.02	161.57
Cape Chelyuskin	CCS	77.72	104.28	66.26	176.46
Tixie Bay	TIK	71.58	129.00	60.44	191.41
Cape Wellen	CWE	66.17	190.17	61.79	237.10
Barrow	BRW	71.30	203.25	68.54	241.15
College	CMO	64.87	212.17	64.63	256.52
Yellowknife	YKC	62.40	245.60	69.00	292.80
Fort Churchill	FCC	58.80	265.90	68.70	322.77
Poste-de-la-Baleine	PBQ	55.27	282.22	66.58	347.36
Narsarsuaq (Narsarsuaq)	NAQ	61.20	314.16	71.21	36.79
Leirvogur	LRV	64.18	338.30	70.22	71.04

入力データは、各観測点の地磁気水平成分 (H 成分) の1分値を用いる。各観測点の1日分のデータからまずベースライン (静穏な状態での値) を差し引く。次に、時刻を世界時で揃えて重ね、1分ごとに、その最大値と最小値を採る。つまり上側包絡線と下側包絡線が得られる (図2に1978年4月10日の例でどのように重ねられたかの実例を示す)。最大値が AU 値、最小値が AL 値である。そして、AU 値と AL 値との差 (和) が AE 値 (AO 値) である。AU 指数、AL 指数、AE 指数、AO 指数を総称したものが、いわゆる広義の AE 指数であり、本報告では広義の AE 指数について述べている。図3に、1978年4月10日について算出された AE 指数を示す。

数式で示すと下記ようになる。

$$AU(t) = \text{MAX}[H_1(t), H_2(t), \dots, H_{12}(t)]$$

$H_i(t)$  は、第*i*観測所における時刻*t*での、ベースラインを差し引いた水平成分値。

$$AL(t) = \text{MIN}[H_1(t), H_2(t), \dots, H_{12}(t)]$$

$$AE(t) = AU(t) - AL(t)$$

$$AO(t) = (AU(t) + AL(t)) / 2$$

AUは、主に東向きオーロラエレクトロジェット電流に対応し、ALは、主に西向きオーロラエレクトロジェット電流に対応する。なお、ベースラインについては、長期的な推移も把握されねばならず、推移をモニターするため一週間に1回程度の絶対値測定が必要である。

AE指数を導出するための観測点が各経度ゾーンで1点しかないことの影響について簡単に述べる。一般に、地磁気活動度が非常に高い(低い)場合は、電流が、AEのための観測点より低(高)緯度に流れる傾向がある。したがって、観測点の緯度が、必ずしもオーロラエレクトロジェット電流の中心の緯度に一致するわけではなく、このような場合、AE指数が実際より少なくジェット電流を表してしまうことに留意しつつ、指数を見なければならぬ。

### 3.4 AE指数導出の歴史と迅速化の流れ

AE指数は、NASA/Goddard Flight Center (GSFC)で初期開発された後、1957年から1964年までアラスカ大学地球物理研究所が算出し(当時は1時間値)、出版した。その後、1964年9

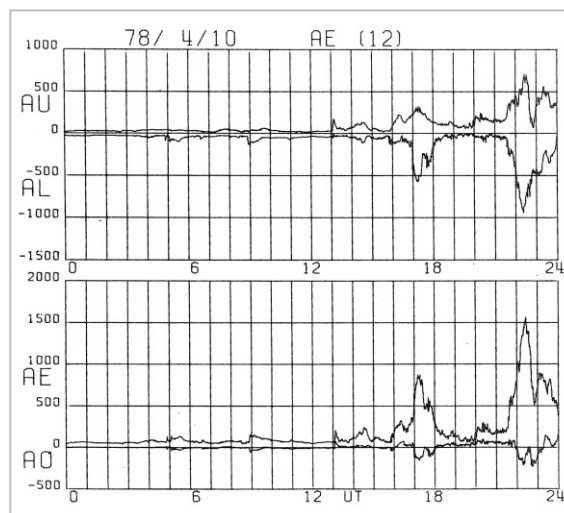


図3 1978年4月10日のAU値、AL値、AE値、AO値

月から1968年まで、NASA/GSFCで2.5分値が試験的に算出された。1966年から1974年まで2.5分値を、1975年から1976年4月まで1分値を、World Data Center for STP, Boulder (NOAA/NGDC)が出版した。その後、1978年から1988年6月まで京都大学地磁気世界資料解析センターが1分値で算出・出版している(なお、出版に関しては国立極地研が1980年後半から担当)。これは12観測所を用いた指数であり、異常値等に対する非常に厳重なチェックを経たもので、final AE指数と呼ばれる。アナログデータとして記録している観測所のデータのデジタル化及び異常値チェック等に非常に手間と時間がかかってしまうため、算出までに年月を要することは否めなかった。

AE指数をその後も算出し、出版することを推

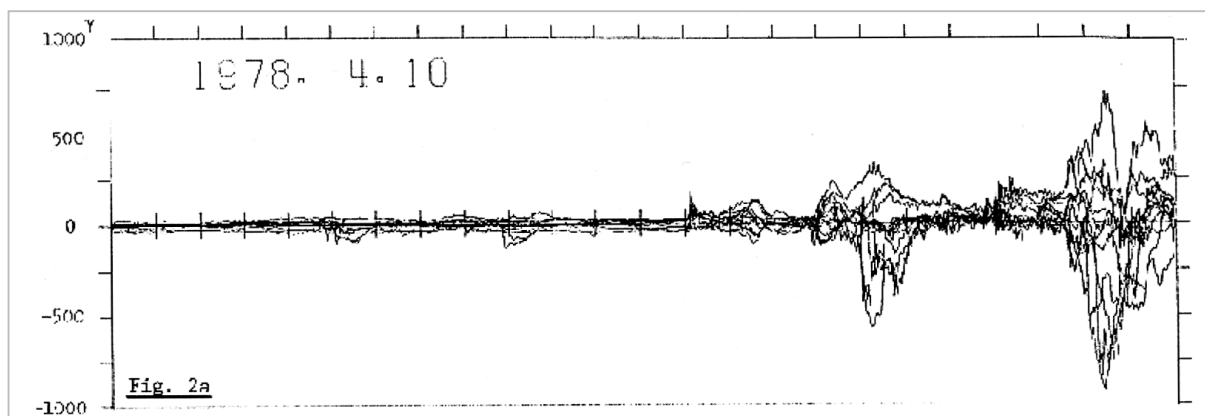


図2 指数導出のために重ね合わせた例(1978年4月10日)

進するために、データをチェック済みデジタル値にするまでの膨大な作業を軽減し、観測所が1-2か所少ない状態であっても算出したものが、provisional AE指数と呼ばれる。この形式で、1990年から1995年までの指数が、京都大学地磁気世界資料解析センターにより1分値で算出され、国立極地研により出版されている。

さらに、できるだけ現在に近い時刻までの指数が、各方面から望まれてきた。京都大学地磁気世界資料解析センターでは、各観測点からの地磁気データが入手され次第、指数を更新し、Quick look AE指数というものとしてWeb上にプロット表示するという形で対応を進めてきた。過去、シベリア域の観測点からのデータが入ってくるまでに月日を要するため、Quick look AE指数においては、シベリア域の4観測点のデータが手元にない状態で指数を導出せざるを得なかった。この場合、12観測点で構成されている環の3分の1が欠けることになり、オーロラエレクトロジェットの消長をモニターすることが難しい時間帯が生じる。特に、シベリア域が夜側の時間帯に入った時に極域での地磁気擾乱が発達した場合、Quick look AE指数で見ると、その擾乱を過少に見てしまったりあるいは見過ごしてしまうことになりやすい。

広い経度帯にわたってシベリア域からの準リアルタイム伝送ができれば、Quick look AE指数での過少見積りや見過ごしが改善され、Quick lookから準リアルタイムへと指数導出迅速化の方向へ道が開ける。準リアルタイムでAE指数が求められることは、宇宙天気予報・研究にとって正に切望されるものであり、シベリア域地磁気観測の準リアルタイムデータ収集が必要となっていた。この懸案を解決する取組がPURAES計画であり、次章で詳述する。

## 4 PURAES計画

### 4.1 経緯・協力態勢

AE指数の準リアルタイム導出を目指し、シベリア域の観測点の磁力計更新による観測データの質の向上と準リアルタイムデータ伝送確立を実現するための第一回会議が2000年10月に札幌で行われた。日本、ロシア、アメリカの研究機

関が集まって協議し、具体的に計画が開始することとなった。この計画がPURAES/SWME (Project for Upgrading Russian AE Stations/Space Weather Magnetometer Experiment)である。協力機関は、日本が、CRL及び京都大学地磁気世界資料解析センター、ロシアがInstitute of Dynamics of Geospheres (地球力学研究所)及びArctic and Antarctic Research Institute (AARI, 北極南極研究所)、アメリカがUniversity of Alaska Fairbanks, Geophysical Institute (アラスカ大学地球物理研究所)及びJohns Hopkins University, Applied Physics Laboratory (ジョンズホプキンス大学応用物理研究所)である。

### 4.2 方法

観測所の磁力計を信頼性の高いものに更新し、12分ごとにデータを送信する機器であるDCPも設置する。シベリア域の地磁気観測点はインターネット接続が困難な僻地にあるため、衛星を介したデータ通信を用いる。DCPから送信されたデータは、気象衛星ひまわりを介して気象庁気象衛星センターに降ろされ、気象協会経由でCRLに着く。つまりINTERMAGNETで用いられている伝送方式である。CRLに着いたデータは、保存されるとともに京都大学に送られる。そこからさらに、本計画協力機関に即時配信される。このデータを用いてCRLと京都大学は協力して準リアルタイムAE指数を導出する。

### 4.3 実施計画

図4にPURAES地磁気観測点群の位置を星印で示す。それぞれの観測点の地理緯度、経度は、Pebek (PBK) (70.09° N, 170.93° E)、Tixie (TIK) (71.58° N, 129.00° E)、Cape Chelyuskin (CCS) (77.72° N, 104.28° E)、Norilsk (NOK) (69.20° N, 88.00° E)である。

PURAES計画実施経過を以下に記す。

- 2001年4月 Pebekに絶対値測定用以外の磁力計を設置し調整を行った。データ伝送機器(DCP)を設置した。テスト送信を開始した。
- 6月 Pebekからの伝送が定常運用となる。
- 9月 磁力計及びDCPの日本国内での調



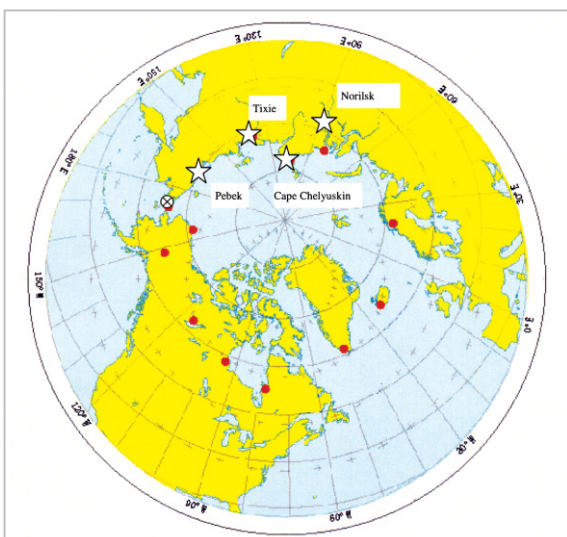


図4 PURAES 地磁気観測点位置

PURAES 地磁気観測点の位置を星印で示す。他の AE 観測点を小さな赤丸で示す。閉鎖された Cape Wellen を ⊗ 印で示す。

整を行った。

- 10月 磁力計及び DCP をロシアへ送付した。
- 11月 AARI 本部のあるセントペテルスブルクにおいて機器の時刻補正機能部分のテストを行った。日本から 2 名参加。
- 12月 セントペテルスブルク近郊にてプロトン磁力計センサー改良部の動作テストを行った。日本から 3 名参加。
- 2002年 2月 Tixie に絶対値測定用を含む磁力計を設置し、調整を行った。DCP を設置した。テスト送信を開始した。
- 3月 Norilsk に絶対値測定用を含む磁力計を設置し、調整を行った。DCP を設置した。テスト送信を開始した。
- 5月 Tixie、Norilsk からの伝送が定常運用となる。Pebek に絶対値測定用磁力計を設置し、調整を行った。
- 8月 Cape Chelyuskin に絶対値測定用を含む磁力計を設置し、調整を行った。DCP を設置した。テスト送信を開始した。
- 10月 Cape Chelyuskin からの伝送が定常運用となる。

#### 4.4 準リアルタイム地磁気データが得られたことによる効果

実際に取得された地磁気変動データの例を図5に示す。観測・データ伝送ともにほとんど中断されることなく、順調にデータが収集されていることが分かる。

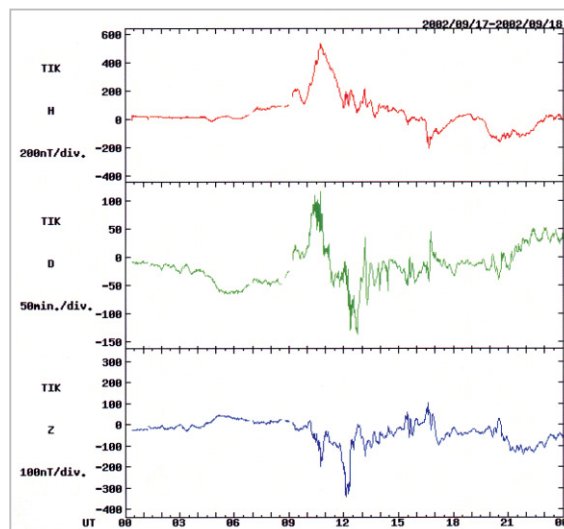


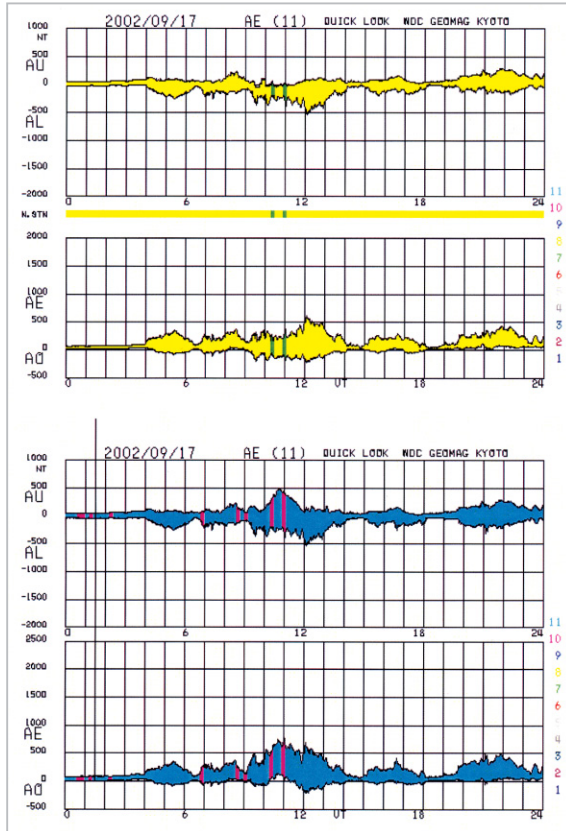
図5 2002年9月17日0時から24時までのTixieにおける地磁気変動

上段がH（水平）成分、中段がD成分、下段がZ成分。

この日のH成分を見てみると、10時UTから12時UT、Tixieの磁気地方時（MLT）では18時MLTから20時MLTにおいて、正の方向に大きく変化している。これは電離圏電流で考えると強い東向き電流が流れたことを示している。

PURAESの観測点群のデータが準リアルタイムで入ってくるようになり、指数の過少見積りがどれほど改善されたかを図6に示す。上段は、PURAESの観測点群データを含めないで算出した場合である。つまり、PURAES計画実現より前の状況をシミュレートしたものである。下段は計画達成により収集可能となったPURAESの観測点群データも含めた場合である。既に見たTixieの地磁気水平成分の大きな変動から予想できるように、この例では、10時UTから12時UTの時間帯で、AUが上段で過少に表されていたのが、下段ではよく表されるようになっている。図7では、7時UTから12時UTの時間帯で、AUが上段で過少だったのが下段では改善されている。図8では、19時UTから22時UTの時間帯

で、上段でのALの過少が下段で改善されている。このように、広い経度帯にわたってシベリア域からのデータが準リアルタイムで収集可能となったことが、AE指数の改善をもたらし、極域地磁気擾乱の現況をより良く把握することができるようになった。

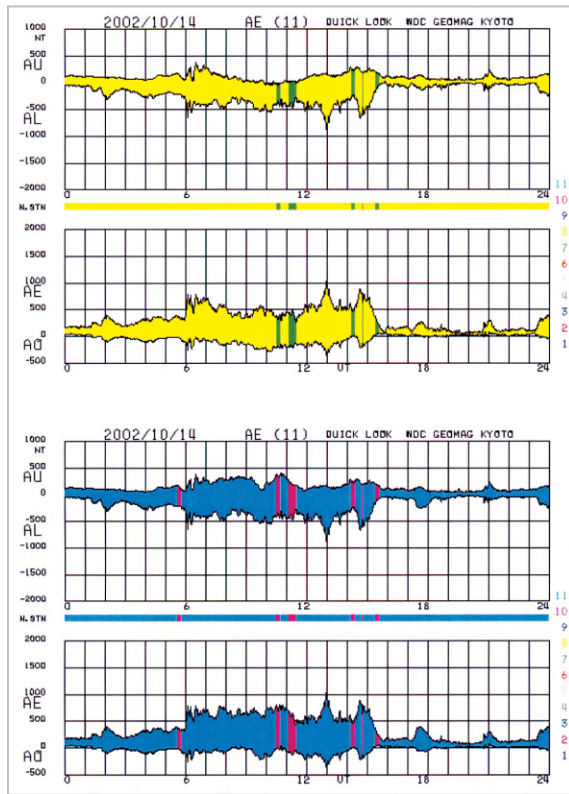


**図6** 2002年9月17日の例  
 (上段)PURAESの観測点群データを含め  
 ないで算出したAU指数、AL指数。(下段)  
 PURAESの観測点群データを含めて算出  
 したAU指数、AL指数。

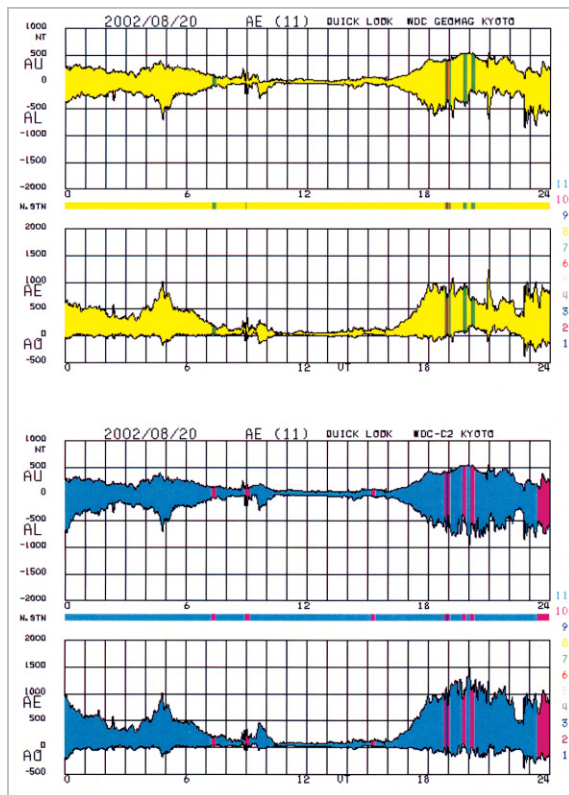
## 5 準リアルタイム地磁気データの更なる利用・応用

シベリア地磁気データは、準リアルタイムAE指数導出に不可欠であるが、それ以外にもデータの高度利用により新たなプロダクトを生み出し得る貴重なものである。多点の地磁気データの総合利用について2例を、地磁気データと他の観測データの組合せ利用について1例をあげる。

シベリア域の地磁気データと従来からのCRLの中緯度から赤道までの地磁気データとを組み



**図7** 2002年10月14日の例



**図8** 2002年8月20日の例



合わせて活用することにより、ユーラシア東部経度ゾーンにおける極域から赤道への電場侵入[9]の様相を把握するのに役立つ。

汎世界的に多点の観測所の地磁気データを用い、物理的制約条件を付加して、電離圏電流・電場、ジュール加熱等の二次元分布を推定する near real-time inversion 計算 (KRM 計算法[14]等) への入力値としての利用がある。従来、入力観測データが北米、ヨーロッパに集中し、シベリア域が空白域であったが、ここが埋まると、推定がより良いものとなる。

地磁気データと他の観測データの組合せとしては、地磁気データと短波レーダ観測データを組み合わせた利用がある。CRLは2001年夏にアラスカ King Salmon に、大型短波レーダネットワーク SuperDARN の一つとなるレーダを建設した。このレーダの観測域が PURAES 計画での地磁気観測点 Pebek 上空は覆う。しかし、他のシベリア3地磁気観測点については SuperDARN レーダ観測ネットワークのどのレーダも観測できていない領域である。この3地磁気観測点のデータを SuperDARN レーダ観測に対し相補的に活用

することで、磁気圏対流の様相をより正確にとらえられる。

## 6 まとめ

PURAES 計画を進め、シベリア域での地磁気観測点の観測の質の向上と、準リアルタイムでのデータ収集を実現した。これにより、極域地磁気データに基づいた指数である AE 指数の質と即時性が高まり、地磁気擾乱の現況把握への大きな寄与となる。さらに、シベリア域地磁気データは、AE 指数導出以外にも高度利用され得るものであり、広く予報に役立つことが期待される。

## 謝辞

PURAES 計画を推進していく中で、気象衛星ひまわりを介した伝送について試験・運用について多大の協力を頂いた気象庁観測部及び気象庁衛星センターの方々に感謝いたします。

## 参考文献

- 1 Davis T. N. and M. Sugiura, "Aurora electrojet activity index AE and its universal time variations", J. Geophys. Res., 71, 785-801, 1966.
- 2 長妻 努, "地磁気嵐", 本特集 I.
- 3 小原隆博, "5. 磁気圏", ウェブサミット講座 宇宙環境科学, 恩藤忠典・丸橋克英 編著, オーム社, 2000.
- 4 Troshichev, O. A., V. G. Andresen, S. Vennerstrom, and E. Friis-Christensen, "Magnetic activity in the polar cap - A new index", Planet. Space Sci., 36, 1095-1102, 1988.
- 5 石橋弘光, 野崎憲朗, "INTERMAGNET/Hiraiso GIN システムの開発", 通信総合研究所季報, 43, 291-299, 1997.
- 6 長妻 努, 石橋弘光, 野崎憲朗, "準リアルタイム地磁気オンラインデータベースシステム", 通信総合研究所季報, 46, 219-228, 2000.
- 7 St-Louis, B. J., E. A. Sauter, D. F. Trigg, and R. L. Coles, INTERMAGNET Technical Reference Manual Version 4.0, 1999.
- 8 長妻 努, 小原隆博, 林 幹治, "北磁極域からの準リアルタイム地磁気データ収集", 本特集 II.
- 9 Kikuchi T., H. Luhr, K. Schlegel, H. Tachihara, M. Shinohara, and T.-I. Kitamura, "Penetration of auroral electric fields to the equator during a substorm", J. Geophys. Res., 105, 23251-23261, 2000.
- 10 Provisional Auroral electrojet (AE) indices for January-December 1995 Data book, No. 26, 2001.
- 11 Vassiliadis, D., A. J. Klimas, D. N. Baker, and D. A. Roberts, "The nonlinearity of models of the  $v_{B_{\text{South}}}$ -AL coupling", J. Geophys. Res., 101, 19779-19787, 1996.

- 12 Iyemori, T. and D. R. K. Rao, "Decay of the Dst field of geomagnetic disturbance after substorm onset and its implication to storm-substorm relation", Ann. Geophys., 14, 608-618, 1996.
- 13 Fukata M., S. Taguchi, T. Okuzawa, and T. Obara, "Neural network prediction of relativistic electrons at geosynchronous orbit during the storm recovery phase: effects of recurring substorms", Ann. Geophys., 20, 947-951, 2002.
- 14 Kamide Y., A. D. Richmond, and S. Matsushita, "Estimation of ionospheric electric fields, ionospheric currents, and field-aligned currents from ground magnetic records", J. Geophys. Res., 86, 801-813, 1981.

くにたけ まさあき  
**國武 学**

電磁波計測部門宇宙天気システムグループ主任研究員  
超高層物理学、磁気圏物理学

いしはしひろみつ  
**石橋弘光**

電磁波計測部門太陽・太陽風グループ主任研究員  
太陽風、宇宙天気



ながせ まさあき  
**長妻 努**

電磁波計測部門宇宙天気システムグループ主任研究員 博士（理学）  
太陽地球系物理学



きくち たかし  
**菊池 崇**

電磁波計測部門研究主管 博士（理学）  
磁気圏電離圏物理

かみ いよひさ  
**亀井豊永**

京都大学大学院理学研究科地磁気世界資料解析センター助手  
地球電磁気学、超高層物理学