

過去2年間のEISCAT-3D計画 に関する議論のまとめ

話題提供者: 小川泰信 (極地研)

(10分間)

過去2回のEISCAT研究集会@極地研における EISCAT-3D に関する議論

2008年度EISCAT研究集会（2009年3月10日）

EISCAT-3D に関する情報交換及び意見集約

- (1) EISCAT 科学協会のLong term (science) plan（EISCAT評議会での提供情報）
- (2) EISCAT_3D design study
- (3) 予算化に向けたEISCAT協会、各加盟国の状況

2009年度EISCAT研究集会（2010年02月26日）

EISCAT-3D に関する情報交換及び意見集約

- ・EISCAT_3D 計画の現状
- ・EISCAT_3D User Meeting 報告
- ・AMISR 計画の現状と初期成果
- ・EISCAT_3D サイエンスプラン
- ・総合討論とまとめ
 - ・日本のEISCAT_3Dに関するサイエンスプランの実現性と優先順位
 - ・新分野へのアプローチ
 - ・日本の貢献方法や予算獲得に関して、など

これらの集会時の議論内容は共に、国内EISCAT_3Dホームページ内：
<http://polaris.nipr.ac.jp/~eiscat/eiscat3d/jeiscat.html>
に掲載中。

2008年度EISCAT研究集会時の発表資料

(1) EISCAT 科学協会のLong term (science) plan (EISCAT評議会で提供された情報)

Esa Turunen現EISCAT所長の基本方針としては、まず利用可能な予算内で小型のプロトタイプを作成し、それを用いてデモンストレーションをして有効性を証明すること、フェーズドアレイアンテナなどの拡張性は保っておくこと、を考えている。

(2) EISCAT_3D design study

2005年5月1日より4年間実施し、その終了時に Final Documentation を作成。

EISCAT_3Dの主たるターゲット:

- ・スモールスケール物理の理解、
- ・D/E/F層のエネルギー収支の理解、
- ・極域超高層大気のモニタリングや予報

(3) 予算化に向けたEISCAT協会、各加盟国の状況

- ・EISCAT_3D 計画が EU ESFRI ロードマップに含まれる(2008年12月アナウンス)
以下、ESFRI ロードマップ: <http://cordis.europa.eu/esfri/> より

Timeline:

Preparatory phase: 2009-2011,

Construction phase: 2011-2015, (実際は2015年頃から建設か?)

Operation: 2015-2045

Estimated costs:

Preparation costs: 6 Mユーロ(約7億円).

Total construction costs: construction cost is estimated at 60 Mユーロ(約75億円)
for one active site but may expand up to 250 Mユーロ(約300億円) for all sites.

Operation costs: 4-10 Mユーロ/year.

Decommissioning costs: 10-15% of construction costs.

2008年度EISCAT研究集会時の議論のまとめ(コメントの抜粋)

(1)EISCAT_3D計画に関する国内のProcedureについて

日本国内もそのような時間スケール(5年)でどうするのかを考える必要あり。特に、

- ・ハードウェアにお金を出さず、できたものをユーザーとして使って研究していく方法、
- ・大元のハードウェア(ファシリティ)にも貢献するというレベルの高いところまでやろうとなると、それなりのコストが必要となるので、高い理由付けが必要になる。そこまで持って行けるかどうか。もしやるとしたら日本も数10億の負担になると思われる。

を検討する必要あり。国内でどのようなProcedure(手続き)でやるとしたらやるか、を議論すべき。

我々のコミュニティ及びその周りも含めて、現在計画されているEISCAT_3Dのハードウェアで、研究の発展が期待されるのか？国内でやるべし、という風になるのかどうか、が不可欠。そういうものがあれば、どこかの代表機関がサウンディングを行いながら、予算要求への道を進めるけれども、その前にコミュニティの意見をどのようにとるか、必要性を認識してもらえる方法をとれるかどうか重要。現在のEISCATのアクティビティをどのように持ち上げて行くかにも関連している。

今までの意見は、EISCATの国内のコミュニティがあって、そこで打診しながらどういうものが必要かを集約してきた。(EISCAT_3D計画が)その範囲内でおさまるならそれでいいけれども、数10-100億のお金を使うのだから、もっと広いところの人が必要になった場合には、その人々をendorse/supportするグループが必要となってくる。そこまで出来ているようには見えないし、学会の中では(EISCATプロジェクトが)どうしても必要だという力になれば良いけど、今は一部の人がやっているという印象を受ける。

(続き)

如何に他分野を含めて利用するかについて、フィージビリティスタディでいいので用意する。具体的には、現段階での EISCAT のユーザーをどう広げていくか(その可能性)を考える。「EISCAT レーダーをある程度使う人は使う」というように、固まってきている現状がある。ちゃんとした使い方はされているが、どう広げられるのか、というのを今からやっておかないと、大気分野の研究者が急に使うということはなかなかあり得ないと思う。まず(研究者間の)インターアクションがなければ出来ない。

如何にコミュニティを広げるか、(他分野の方々にも)魅力的なプロポーザルを出してもらえるか、あるいは、我々が出すかというところにかかっている。それ無しでは形だけを整えても前には進めない気がする。

今回の場合にヨーロッパで一番の議論となっているのは、「これがやる意義があるのかどうか?」「どのようなことができるのか?」ということが最も重要なので、そのような戦略を作っている。

レーダーの実現を目指しているPANSY グループでは、勉強会を継続して開催。EISCATについても研究集会を毎年開催し続けている。どういう問題があるのかを、今日イニシアチブをとって、これから進めて行くのがよいのでは。

ここ2,3年でEISCATグループをidentifyさせて頂き、10-20人程度のしっかりとしたユーザーコミュニティを作ることが一番大事では。

国内コミュニティでEISCAT_3Dを実際にやりたいということになって、あと2-3年で日本として案をまとめるということになれば、だれかが体制を整えて役割を分担するしかない。中堅・若手研究者が、どういう風に具体的に引っ張っていくかについて体制を考えないといけない。

(2) 研究対象、利用範囲(分野)、他の人工衛星観測プロジェクトとの関係について

フェーズドアレイ方式のISレーダーでは、同時に多地点を3次元的に取得可能なところが現有の装置と大きく違う。国内ユーザーの方々が現在考えていることを、現有の装置でどこまでできるのか、もしくはできないのか。その内容をEISCAT_3D計画のハードウェアにフィードバックできれば、こういうことを日本のコミュニティの要求を満たすのでは。これまでも意見の吸い上げはSACやSOCで継続してやってきたが、さらに広い分野に広げる必要あり。

旧来の領域だけではなく、大気、デブリとかの入れるような形にする方がよい。木星等の惑星観測も日本のグループはやってきた。今後もIS観測ではないけど受信機として使える。そういう形で広めておいて、ユーザーコミュニティを定義していくとよいのでは。

「(北欧は)天気が悪い」というのが、地上オーロラ光学観測をする上で大変苦しい。1週間特別実験時間をもらっても1晩も晴れないとなると、かなり落胆する。改善策として、少し低緯度や東の内陸にレーダーを置くほうがよいか。低緯度側ではブラックオーロラやプロトンオーロラが見えやすいかも。Interferometry観測をスモールスケールでたとえ出来ても、オーロラの微細構造観測も同時にできないと価値が下がる。

超高層物理研究において磁力線方向観測が非常に重要であり、トランスミッターのあるサイトでのみ沿磁力線方向(の高度分布)観測が可能である。そこで(政治的な問題はあるけれども)例えば、フィンランド側にトランスミッターを持って行き、トロムソをパッシブにすることも。

IRF kiruna のグループを中心に進めている流星の観測は、研究分野を広げるという点ではいいのでは。

(続き)

ロケット観測計画も「ユーザーの固定化、予算をどうするか」という同様の問題を抱えている。ユーザーの拡大や予算とのバランス・兼ね合いが必要。超高層以外の分野がどのように関わってきたかも重要だが、さらに新しいユーザー(分野)を広げることも重要では。レーダーは応用範囲が広いので、大気研究についても我々が考えていなかったような研究のやり方もたぶんあるのでは。まったく別のコミュニティに対してアプローチしていくこともできれば、結構分野が広がる可能性は高いのでは。ここ1-2年でやれば、多くの支援が得られるのではないか。

外にユーザーを増やすことも大事だが、(メインとなる)超高層大気分野の若い人が少ないことも問題。名大STE研も極地研も大学生問題は非常に深刻であり、なかなか大学院生が来ない。東北大学や北海道大学、東京大学などの学生のいる先生方を勧誘し、お願いをして、大学院生にEISCATを使って頂くような運動も基本的に必要。

大学院生にEISCATを使った研究を進める上で、レーダーだけというのはとっつきにくいので、光学観測を併せて進めたい。そうとなると、上記の天候問題が出てくる。

(3) PANSY との関係について

PANSY との棲み分けは？戦略は？

EISCAT_3Dは国際共同プロジェクトであるが、予算に関してはPANSY は日本だけで作るという違いがある。また、周波数帯が 50 MHz 近辺(47 MHz)であり、基本的には IS レーダーとしては使いにくい。具体的には、PANSYでは電離圏電子密度を測定するのに数10分かかる(EISCATでは1秒程度)。

細かい点よりも「なぜ極域に2つもレーダーを展開する必要があるのか」という、基本的な大きな点を問われる。その点については、例えば、昨年8月にシカゴで開かれた「南極ISレーダーワークショップ」の場では、「南北両極で展開することが非常に重要」ということがキーポイントに。NSFも南極にISレーダーを作ろうとしていて、その一つのセットとして、PANSY と NSF の IS レーダーを南極に両方展開しようということに。南極だけで意味があるかということ、それだけでは北極だけ作っておけばいいのと同じことになって意味がないので、南北で両方を対峙並べることが重要だという観点。物理的な理由付けはちゃんとある。

PANSY が 60-100億円というレベルで、EISCAT-3D(延べ300億円)は日本の分担を10-20億円とすると、大きなお金であることは確か。同時に走れるかどうかというのは確かに問題。PANSYの方がやるとすると早いのでは。

PANSY計画は、南極観測計画22年度から8期(6カ年)の重点プロジェクトの中に、他のライダーや光学観測と共に取り込まれた。予算については、規模が違うので保証するものではなく、JAREとは別枠で予算を確保するという形。その観点からは、極地研の中では(予算的な措置は努力が必要だけれども)正式に PANSY は具体的に正式に位置づけられている。例えば、緊急な大型補正予算の話が出てくるときには、極地研の中ではPANSY計画を最優先で推進する。

日本に2つレーダー建設(PANSY、EISCAT-3D)という冗長することをどう説明するかについて、一つには狙えるサイエンスがかなり違う。PANSYの主体は大気レーダーで、研究ターゲットが違う。一方EISCAT-3Dは、電離圏観測用のレーダーではあるが、それより低い高度領域も狙える。そのため、両半球で大気研究もできる。両極でやることのメリットをむしろアピールできる、もしくはする必要があるのであるのでは。

PANSYとEISCAT-3Dの建設の時期はオーバーラップするため、極地研としては悩ましいところであることは事実。そこで、優先順位を1, 2位とつけるのではなくて、「予算がさらに1/5つければ、こんな良いことができる」という発展性を感じさせる説明を極地研ですることは可能か。

EISCAT_3D計画に関する国内体制について

2008年度研究集会での議論や提案、コメントを受け、以下の内容を進めることを計画。

(1)国内 EISCAT_3D ワーキンググループの立ち上げ(2009年4月より)

EISCAT_3D 計画の今後の進展具合により、メンバーを増やすことを検討。今後立ち上げる予定のEISCAT ユーザーコミュニティのメンバー候補とタスクについても、このグループ内で案を作っていきたいと思います。

(2)EISCAT事務局会議

EISCAT に関する情報交換・共有を国内関係者で密に行うことを目的として、EISCAT事務局会議を年に2回開催予定。

(3)EISCAT_3D ホームページの立ち上げ

学生や分野外の研究者へのアピールも視野に入れています。計画概要、進行状況、レーダーのスペックや期待される研究成果などを記述し(デジタル版のリーフレット/パンフレットも作成し)、その内容を随時更新予定。

(4)現行の EISCAT プロジェクトのホームページの立ち上げ

現行の EISCAT プロジェクトでは、どのようなことを目的としてどこまでできているのかを説明/アピールするホームページ。

- ・まず EISCAT_3D ホームページを宣伝して、新しいプロジェクトに興味を持つ方々を掘り起こす。
- ・興味を持つ方々に、現有のEISCATプロジェクトのことも、ホームページを通じて知ってもらう。

という流れで、EISCATプロジェクトの新規ユーザーの獲得も考えています。

(5)国内学会や研究集会などでのEISCAT_3D 計画のアピール

2009年度EISCAT研究集会時の議論のまとめ(コメントの抜粋)

EISCAT_3D と AMISR との比較、AMISR 関連の情報

- ・EISCAT_3D と AMISR と大きく違うのは、何も仮定無しで3次元速度ベクトルを導出できるかどうか。EISCAT_3D では複数のリモートサイトにおける同時観測により実現可能 (Tristatic 観測の有意性)。AMISR では空間一様性などの仮定が必要。
- ・電離圏加熱装置がそばにあるかどうかもキーポイント。

日本のEISCAT_3Dに関するサイエンスプランの実現性や優先順位に関して

- ・Cutting edge のサイエンスをやることが重要。これまで進めてきたことを発展的にやることも重要だが、EISCAT_3D レーダーが実現したために、本当に新たな領域の World leading となることを見つけて進めるほうがよいのでは。(これまでのパラボラディッシュではなく)フェーズドアレイを用いて分かることを十分に議論する必要あり。
- ・これまであまりやられていない領域として、「D領域の物理」や「Topside ionosphere」の観測はどうか。地球科学で新しいことがある。例えばD領域ではCharge neutralityが破られているなど。また、EISCAT_3D で用いる VHF 帯 (230 MHz) の電波なら D領域の加熱にも使える可能性あり。
- ・微細オーロラの発生機構の研究。最近の有力な説の1つは、Alfven resonatorによる電離圏フィードバックの効果。アルフベン波が共鳴していくうちに、電離圏電子密度の微細構造(電離圏の伝導度の粗密)が成長していく。解明には、電離圏電気伝導度の2次元構造をEISCAT_3Dで同時観測することが重要。空間スケールは1 km 程度(加速の最小エレメント)と考えており、500 m の分解能で大丈夫。10秒ぐらいの時間分解能がほしい。
- ・例えば M-I 結合の視点では、磁気圏側のデータが数多く無いため議論のしようがない。一方、EISCAT_3Dが2015年頃から始まるとして、その後の30年間では、シミュレーションの方がかなり進んでいくと思われる。この分野にトライすることによって、観測と計算が密接に関わるような大変おもしろい内容がたくさんある。

(続き)

- ・コミュニティ連携という形で、磁気圏衛星というよりは、むしろシミュレーション関係の方々から
んでいくのも一つの手段では。グローバルシミュレーションでは電離圏の分解能が、あと5年ぐら
いで1000x1000グリッドになる。そうすると、電離圏の微細構造の物理と磁気圏グローバルMHDに
よる電離圏との比較ができる。その場合の研究対象として、例えば夜側のハラング不連続帯近傍
の3次元電流系。
- ・どの程度の時間・空間分解能なら、どこまで分かるかを今後具体的に出していく必要あり。日本の
進めたい研究内容をサブテーマごとにまとめていくかどうか。
- ・レーダーを拠点としたネットワーク観測を組むことが重要。現在も恣意的に光学・電波観測による
コンビネーションを組んで進めている。

新分野へのアプローチ(気象分野、惑星研究、IPS観測)

気象分野

- ・対流圏・成層圏の大規模場については、気象客観解析データで4次元構造をほぼリアルタイムで
取得可能である。EISCAT-3D観測のメリットは(1)高時間・高鉛直分解能観測、(2)鉛直流観測、
(3)3次元イメージング観測、(4)天候に左右されない連続観測、といえる。
- ・研究対象は(1)重力波観測(構造推定や運動量輸送の定量的見積もり)、(2)ノルウェイ沖を含
む北極海に頻繁に出現するPolar low観測、(3)対流圏界面の微細構造観測、3次元乱流観測、
が挙げられる。
- ・ウィンドプロファイラー(400 MHz、ピーク出力は数10 kW)やMUとの比較より、観測パラメーター
をMUレーダーのように大気観測用にできれば、高度20kmくらいまでは観測可能と思われる。南
極昭和基地のPANSYの場合、サブパルス1 μ sec で、かつ多波長を用いて計測。なお、中間圏の
乱流観測は乱流の空間スケールの関係で、230 MHz 帯では無理がある。そのため、中間圏観測
はインコヒーレント観測に。

惑星研究(EISCAT 3Dによる惑星非熱的電波観測)

- ・電波望遠鏡としては高感度であり、既存のGMRT,VLA等や建設中(LOFAR)の大型電波天文観測装置に比べ遜色ない感度である。
- ・太陽系内天体のターゲットとサイエンス:(1)シンクロトン放射:放射線帯高エネルギー電子。木星シンクロトン放射分布に関してはEISCATでは空間積分観測となる。(2)惑星雷電波の検出:大気化学・大気力学(例:火星ダストストームの発達過程・放電に伴う大気化学)(3)系外惑星検出:長時間積分によりターゲットになりうるかどうか?
- ・惑星観測好機(天頂角が50度未満):(1)木星の場合、2011-2014に60度未満、(2)火星:1年おきに約100日間/年(2013, 2015, 2017, 2019年)。
- ・課題(1)惑星高度が低いため、ビームパタンの変形や開口面積の減少の問題。(2)低周波観測のため、銀河背景構造が顕著に。絶対強度変動観測に対するコンタミ要因となる。(3)観測時間(マシンタイム)の確保。未検出現象・強度変動観測 → レギュラーな観測、マルチビーム観測

EISCAT-3DによるIPS観測

- ・観測可能領域:太陽から0.2~0.3AU以遠であり、太陽風加速領域ではないため、加速研究には不向き。そこで、(1)大開口面積・マルチビームを活かして天頂通過するIPS天体を順次観測し、spectrum model fittingにより太陽風速度を高空間分解能で求める。(2)g-value(太陽からの距離依存性を除去したシンチレーション強度)を求める。これらにより、ICME伝搬の研究、宇宙天気予報への応用が期待される。
- ・EISCAT-3DによるIPSの最小検出フラックス(S_{min})は0.04Jy(@天頂)であり、かなりの数の電波天体を観測できそうである。この高密度IPS観測の実現により、太陽圏のリアルタイムイメージングが期待できる。ただし、マシンタイムはどの程度連続で確保できるか、観測帯域は十分に(5~10MHz程度)とることが出来るか(デジタルバックエンドだと帯域が狭く、専用のバックエンドを準備して設置する必要あり?)がIPS観測の敷居の高さに直結すると思われる。
- ・さらに、九州大学がMUを用いたスペースデブリ関連の研究を進めている。EISCAT_3Dを用いた研究分野の1つとして、関わってやっていけるのでは。

日本の貢献方法や予算獲得に関して

- ・現在のEISCATプロジェクト参画当時は、測地委員会にて決まった。その際に一番大事なのは学会のコンセンサスであり、コアとなるサイエンスができるかどうかであった。西田先生や大家先生もその点を強調し、支援して下さった。レーダーの設計に関しては、小川忠彦先生や佐藤亨先生に大変貢献して頂いた。
- ・いまのEISCATではどのようなことが分かったのか、今後EISCAT_3Dでどういうことが分かるのか、(特に、衛星観測に対して)地上観測がどれくらい重要か、大規模だと通常ではできないニューサイエンスができるはずであること、を(我々の考え方を整理しつつ)うまく皆さんに理解してもらうことが大事。
- ・例えば、イギリスの予算に関する態度は、完全にサイエンス指向。つまり、新しいサイエンスができるかどうかだけで、予算がつくかどうかを決める。今までの継続ではない、斬新なアイデアが重要。もう一方の考え方として、観測データをコツコツと貯めて、色々なアイデアを持ってデータを用いるサイエンスの進め方もある。日本はサイエンス指向とコツコツ型の中間と言える。
- ・日本の北極研究の見直しの中でのEISCATの位置づけが重要。現在の国の方策としては「グリーン・イノベーション及びライフ・イノベーション」を推進している。
- ・EISCAT_3D実現のために、日本に要求されてくるのは10億や20億円の規模の予算であると思われる。また、EISCATでは、お金をプールして(一つにまとめて)計画を進める文化である。