

電波天文生存の危機

大石 雅 寿

〈国立天文台 天文学データ解析計算センター 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: ohishi@nro.nao.ac.jp

これまで電波天文が悠々と暮らしてきた高周波数領域への商用通信サービスなどの進出が盛んである。周波数利用をする時の国際ルールを解説し、既に起きていたり、また、近々予想される電波干渉問題を取り上げ、電波天文が生き延びていくために我々は何をしたらよいかを提言する。

1. 高まる周波数利用の需要

1998年度政府予算の大蔵原案が97年12月20日に内示された。その内容を報ずる新聞を読んでいたら次のような項目があった。「情報通信：高度20 kmの成層圏に飛行船を浮かべ、携帯電話やパソコンのデータ通信に使う無線中継システムの開発に4億5000万円。科学技術庁と郵政省が共同で研究に取り組む。(朝日新聞12月21日)」これは、先日ジュネーブで開催された国際電気通信連合の世界無線通信会議でも話題になっていたもので、既にアメリカにはこのための会社(Sky Station)まで設立されている。成層圏内では大気の運動が少なく、飛行船の位置を制御することが容易なのだそうである。しかも、データ通信の需要が多い大都市上空に飛行船を浮かべることで高速通信を低コストで実現しようとするシステムである。しかし、問題は、データ通信に用いる周波数が47-50 GHz帯の中の300 MHz×2(アップリンク、ダウンリンク)であり、43 GHz(SiO)や49 GHz(CS)に設定されている電波天文バンドでの電波天文観測への大きな影響が懸念されることである。

これ以外にも、地球を低高度で周回する衛星を数多く打ち上げ、世界中でも衛星携帯電話を使えるようにしようといういくつかの商用計画が着々と進んでいる(Iridium, Global Star, I-CO, Teledesic, など)。これらは中性水素の21cm線(1420

MHz)やOHのメーザー線(1.6 GHz)にごく近い周波数を用いることになっているため、低周波の観測を行っている電波天文台では悲痛に近い反対の叫び声が上がっている。特に直径45 mのパラボラアンテナ十数基からなるアレイ(GMRT)を建設したばかりのインドではその影響は甚大である。

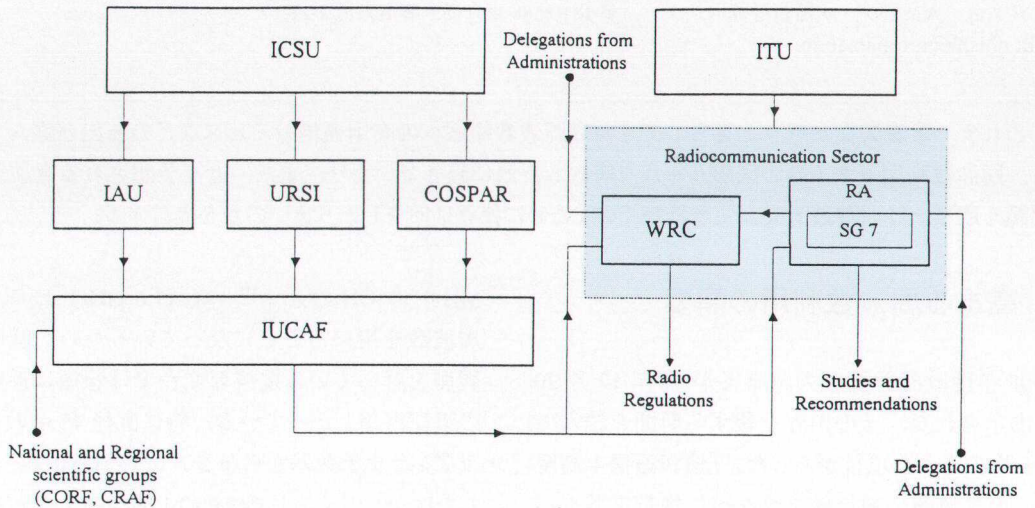
低周波(3 GHz以下)では様々な用途に使用する電波の周波数が近接し、お互いに干渉を引き起こす、広いバンド幅が取れない、など様々な問題が発生している。このため、より高い周波数を利用して高速な通信などを行おうという動きが活発化している。ところが、30年以上も前からセンチ波やミリ波の高感度受信機を開発・利用して極めて微弱な宇宙からの電波をキャッチし、宇宙背景放射の発見、パルサーの発見、膨大なエネルギーを放出する電波銀河の発見、100個以上の星間分子の発見、分子雲中での星形成プロセスの理解、など様々な新しい宇宙の姿を解き明かしてきた電波天文にとって、通信需要の高度化は大いなる脅威なのである。

2. 周波数利用のルール

電波資源は有限である。また電波資源は特定の誰かのものでもない。従って電波を利用(特に放射)する場合には国際的なルールを策定し、それに基づいた利用をする必要がある。このルール作りを行っているのが国連の下部組織の一つである



Inter-relationships between international agencies involved in frequency coordination for the radio astronomy service



where (in alphabetical order):

- | | |
|--------|--|
| CORF | Committee on Radio Frequencies |
| COSPAR | Committee on Space Research |
| CRAF | Committee on Radio Astronomical Frequencies |
| IAU | International Astronomical Union |
| ICSU | International Council of Scientific Unions |
| ITU | International Telecommunication Union |
| IUCAF | Inter-Union Commission for the Allocation of Frequencies for Radio Astronomy and Space Science |
| RA | Radiocommunication Assembly |
| SG 7 | Study Group 7 |
| URSI | International Union of Radio Science |
| WRC | World Radiocommunication Conference |

図 1

ITU (国際電気通信連合) である (図 1 参照)。それぞれの国の中では、ITU の作成した勧告に基づいて主管庁が国内の運用ルールを定めている。日本の場合、主管庁は郵政省である。ITU は広い範囲の問題を取り扱うため、いくつかの研究グループ (SG) を設けている。電波天文は ITU-R の SG7 (科学業務) に属しており、電波天文業務 (Radio Astronomy Service) と呼ばれている。SG は様々な研究課題に対する回答をし、また、技術面、運用面、規制面の検討を行って勧告案を作成する。勧告案

に含まれるのは、業務に適した周波数、影響の出る干渉レベルの値、他の業務との共用条件、放射レベルの上限値などである。これらの勧告案は 2 年に 1 回開催される WRC (世界無線通信会議) で審議・採択され、勧告となる。SG は科学者や技術者が主たる構成員であるが WRC は行政官が主たる構成員であるため、SG の結果がそのまま勧告とならない場合もあり得る。まさに WRC に参加するという事は国際政治の最前線に立つということであり、各国の利害がむき出しになる場面に多

く遭遇することになる（二酸化炭素など温室効果ガス削減のための京都会議のようなもの）。97年10月から11月にかけてジュネーブで開催されたWRCに私も参加していたが、そこには多くの衛星通信関連企業関係者も参加していた。強力なロビーイングを会議場で行い、また、無料コーヒー、無料昼食、毎夜のレセプションに各国政府関係者を招待し新たな周波数割り当てを獲得するためである。「お金を生み出すためにはこうやってお金を使うのか!」と思わず感心してしまうほどの豪勢なレセプションすらあった。なにせ1晩のパーティーで軽く2億円は使うのだそうである。

さて、電波天文の意見を反映させるために世界中の主な電波天文台の代表者がSG7に参加している。SG7でも特に電波天文業務に関する議論を行うのが作業部会D（WP7D）である。WP7Dの議長はオーストラリアのJohn Whiteoakが20年以上つとめており、他にもアメリカ国立電波天文台のDick Thompsonなど多くの人々がかなり長い期間継続してWP7Dに参加している。日本からはこれまで国立天文台野辺山宇宙電波観測所から代表を送っている。これらの人々は各国の代表という立場であるが、その他にもIAU, URSI, COSPARが共同で構成しているIUCAF（電波天文と宇宙科学のための周波数割り当て委員会）からの代表もWP7Dに参加している。日本からは各国代表として、過去においては赤羽、森本、海部、井上、石黒氏が参加し、現在は私が参加している。また、IUCAFメンバーは、最近石黒氏から川口建太郎氏にバトンタッチされた。実際面では私がIUCAFの活動も同時並行的に行っている。

WP7Dの会合は短くても1週間、長ければ2週間かかるといえる。これが1年に1～2回ある。また、WRCは2年に1度とはいえ、1回の会議が1ヶ月かかる。さらに、郵政省で開催される国内における調整会議も年に数回ある。会議のための基礎資料作成にも多くの時間がかかり、非常に大変な仕事である。過去の経緯を知っていることもスムーズ

に交渉を行うポイントとなるため、複数の人間が関与し続けることが重要となる。また我々には大企業と違って豊富な資金はない。にもかかわらず電波天文の観測を守ってゆくためには、我々の住んでいる宇宙（自然）について知りたいということが人類の根源的な欲求の一つであり、それはお金では買えないのだ、という点を強調しなくてはならない。

3. 電波天文バンド

電波天文バンドが定義されている。おそらく初めてその存在を知った人がほとんどであろう（表1参照）。我々が通常観測を行っている周波数帯のごく一部が電波天文バンドとしてリストされている。これらのバンドでは我々は「権利」を主張できる。一次業務（Primary）として割り当てられているバンドでは電波天文が優先的にその周波数帯の使用ができ、もし、他業務からの干渉を検出すれば干渉が起きないように要請できる権利を持つ。特に一次業務で受信のみ（Passive）に割り当てられている周波数帯では他の業務は電波を放射することが禁止されている。二次業務（Secondary）の場合は権利を主張できる相手は同じ周波数帯で二次業務に割り当てられている業務に限られる。しかし、電波天文バンド以外の周波数帯では、受信は自由だが干渉を検出しても文句は言えないのである。

表1の内容は1979年に決められて以来一度も改訂されていない。WP7Dでは、高感度なSIS受信機の開発・実用化、天文学的に重要なスペクトル線の発見などの事実に基づき新たな電波天文バンドの設定を要求し続けてきたが、いずれもSGレベルで拒絶されてきた。だが、長い間の運動が実り、1997年のWRCで71GHz以上における電波天文などの受動業務のための周波数割り当てを見直す決議が採択され、1999年のWRCで新しい電波天文バンドが制定される予定になった。新しい電波天文バンドを設定するための基本作業はIUCAFの内部におかれたミリ波ワーキンググループで行われている。ここでの作業結果を基本として各国から



表1 電波天文バンド一覧 (1997年12月現在)

周波数帯	ステータス	周波数帯	ステータス
13.36 - 13.41 MHz	P	31.50 - 31.80 GHz	P
25.55 - 25.67 MHz	P	42.50 - 43.50 GHz	P
37.50 - 38.25 MHz	S	48.94 - 49.04 GHz	P
73.00 - 74.60 MHz	P	86.00 - 92.00 GHz	P(Pas)
79.75 - 80.25 MHz	P	97.88 - 98.08 GHz	P
150.05 - 153.00 MHz	P	105.00 - 116.00 GHz	P(Pas)
322.00 - 328.60 MHz	P	140.69 - 140.98 GHz	P
406.10 - 410.00 MHz	P	144.68 - 144.98 GHz	P
608.00 - 614.00 MHz	P/S	145.45 - 145.75 GHz	P
1400.00 - 1427.00 MHz	P(Pas)	146.82 - 147.12 GHz	P
1610.60 - 1613.80 MHz	P	150.00 - 151.00 GHz	S
1660.00 - 1670.00 MHz	P	164.00 - 168.00 GHz	P(Pas)
1718.80 - 1722.20 MHz	S	174.42 - 175.02 GHz	S
2655.00 - 2690.00 MHz	S	177.00 - 177.40 GHz	S
2690.00 - 2700.00 MHz	P(Pas)	178.20 - 178.60 GHz	S
4800.00 - 4990.00 MHz	S	181.00 - 181.46 GHz	S
4990.00 - 5000.00 MHz	P	182.00 - 185.00 GHz	P(Pas)
10.60 - 10.70 GHz	P	186.20 - 186.60 GHz	S
10.68 - 10.70 GHz	P(Pas)	217.00 - 231.00 GHz	P(Pas)
14.47 - 14.50 GHz	S	250.00 - 251.00 GHz	P
15.35 - 15.40 GHz	P(Pas)	257.00 - 258.00 GHz	S
22.21 - 22.50 GHz	P	261.00 - 265.00 GHz	P
23.60 - 24.00 GHz	P(Pas)	262.24 - 262.76 GHz	P
31.30 - 31.50 GHz	P(Pas)	265.00 - 275.00 GHz	P

注：Pは一次業務，Sは二次業務であることを示す。また，P（Pas）は受信のみが一次業務として許されていることを示す。

以上の割り当てに加えて，無線規則はスペクトル線観測に用いられる以下の周波数帯において電波天文業務を有害な干渉から保護するためあらゆる実現可能な方策をとるよう各主管庁を促している。

1330.0 - 1400.0 MHz	22.01 - 22.21 GHz
3260.0 - 3267.0 MHz	22.81 - 22.86 GHz
3332.0 - 3339.0 MHz	23.07 - 23.12 GHz
3345.8 - 3352.5 MHz	31.20 - 31.30 GHz
	36.43 - 36.50 GHz
	93.07 - 93.27 GHz

SG7への入力文書が提出され，WP7DやSG7で議論を重ねて行くこととなる。従って日本をはじめとしてミリ波やサブミリ波で観測運用を行っている観測所からの積極的な意見を出して行くことが極めて重要である。時間はあまり残されていない。

図2に現在の電波天文バンドでの有害な干渉レベルのグラフを示す。これは他の業務に対して，電波天文で受信する信号レベルがいかに低いのかを示すために作成されたものである。Continuum（連

続波）観測では広い帯域を用いることにより感度を上げるので，Spectral Line（スペクトル線）観測に比べて干渉レベルは10 dBほど低くなる。このグラフは典型的な受信機雑音温度，バンド幅，そして2000秒の積分時間を仮定して求めたものであることに注意していただきたい。電波天文学では2000秒よりもずっと長い積分を行うことがよくある。その時の雑音レベルはこのグラフにある値よりも低くなる。グラフにある典型的な干渉レベルの値

Thresholds of interference versus frequency
(The ordinate is spectral power flux-density)

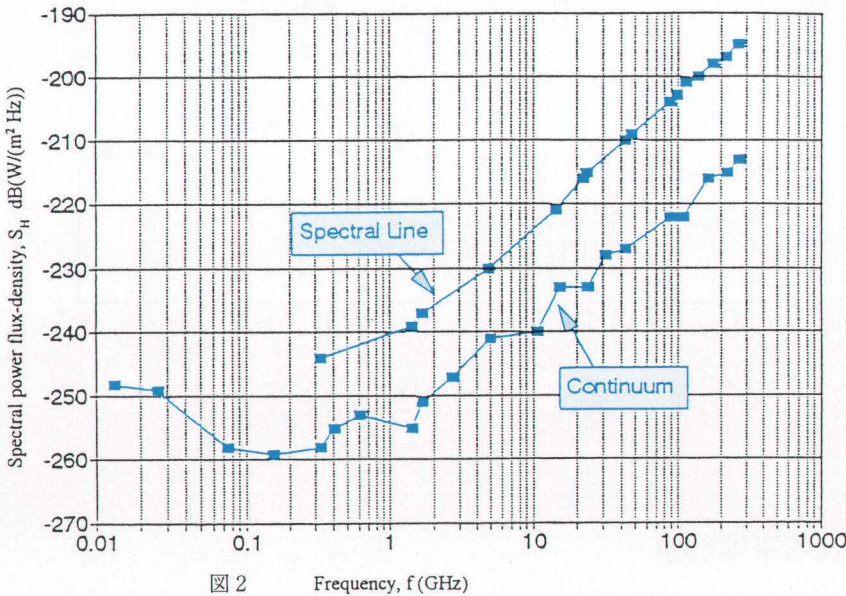


図2 Frequency, f (GHz)

せた HALCA が 1.6 GHz でフリンジを検出する際にかなり邪魔になった。HALCA は観測周波数をずらすことによってようやくフリンジを検出したのである。

この他にも、10 GHz 付近では（軍事？）レーダーの非常に強い信号が入ることがある。観測装置が飽和するほどの強い信号で、しかも、朝5時になると信号が現れるので明らかに人為的な電波源である。活動時間が分かったので、夜中に観測して

は、通常の通信業務が使用している信号レベルと比べると 40-100 dB（1 万分の 1-100 億分の 1）低い。このため、電波天文業務を不要電波放射から保護するためにはかなりのコストがかかることになってしまう。このため、経済原理で動いている産業界からは時として、電波天文は厄介者と映るようである。

4. 他業務からの不要電波による干渉

ここで干渉の具体的な例をみてみよう。図3に通信総合研究所鹿島宇宙通信センターで観測した電波天文バンドへの干渉の例を示す。1.6 GHz にある OH ラジカルを観測するために設定されている電波天文バンドにロシアが打ち上げた GLONASS が出す電波が割り込んでいくことが分かる。これだけの信号が入り込んでくると全く観測ができない。このような例は低周波帯で顕著であり、つい最近では、世界で初めてのスペース VLBI 実験を成功さ

データを取得することによって干渉を回避して観測したものである。

電波天文の信号検出感度は他の業務に比べて極めて高いことは前節で述べた通りである。しかし、多かれ少なかれ電波天文以外の業務でも他業務からの干渉に悩まされている。このため、97年の WRC では、現行より厳しい他業務へのスプリアス放射レベルの規制値が採択され、2003 年から導入される機器から適用されることとなっている。この新しい規制値は電波天文の保護にはほど遠いものではあるが、電波天文を含む受動業務を保護する目的としてバンド毎により厳しい規制をかけてもよいとの文言が決議文に書かれているので一定の評価ができる。より厳しい規制をするかどうかは各主管庁にまかされているため、日本の電波天文を守るためには天文学コミュニティとして団結して郵政省に申し入れを行う必要がある。



鹿島宇宙通信センターで観測した電波の分布図

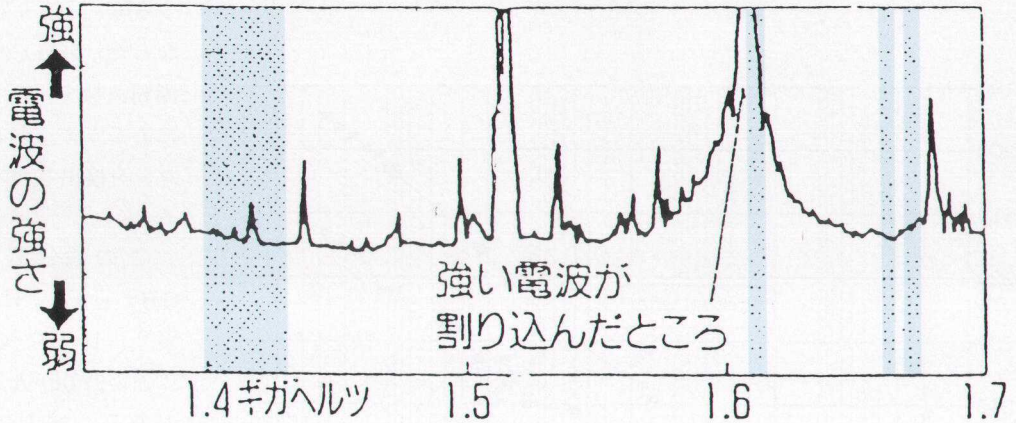


図3 天文観測が優先される周波数帯

5. 近未来に想定される干渉問題

数年から10年程度先に現実のものとなる様々な通信サービスなどについて記述する。これを見れば明らかなように、電波天文を取り巻く環境はますます厳しいものとなる。

1) 衛星電話：Iridium, Global Star, I-CO, Teledesicなどは全て低軌道地球周回衛星を多数打ち上げ、世界を衛星電話のネットワークでカバーしようとするものである。モトローラやマイクロソフトといった世界に名だたる大企業がスポンサーとなっている。Iridiumは最も先行しており、66個（原子番号66の元素がイリジウムである）の衛星を打ち上げ、98年からサービスを開始する予定である。使用する帯域はLバンドで通信容量はそれほど大きくない。いずれはより高い周波数を利用するものに移行して行くであろう。地上からの電波であれば、電波天文台を都市から離れた山間部などに建設して少しでも干渉を低減する努力はこれまでも行われてきた。だが衛星から地上に降り注ぐ電波は防ぎようがない！（人口密度の少ないところまでサービスを行う必要が本当に

あるのでしょうか?? それに皆さん、これ以上忙しくなることを望んでいるのでしょうか?? お金を稼ぐことに人生を賭け、結局は破綻してしまった経済の国の教訓は生かされないのでしょうか?)

2) 94 GHzでの雲レーダー：郵政省通信総合研究所と科技厅宇宙開発事業団とが協力し、また、JPLともコンタクトをとりながら進めている雲の3次元分布を得るため、低軌道衛星にレーダーを搭載しようとする計画である。もともと地球探査には78-79 GHzが割り当てられているが、さまざまな理由から3 mmの大気の窓の中で最も大気透過度の高い周波数帯域——95 GHz近辺の1GHz幅——の新たな周波数割り当てを地球探査業務が要求したのである。電波天文側はこの提案に対し、「この周波数帯域で現在主役を務めているSIS受信機は広帯域の受信機であるため、観測周波数がレーダー周波数と違っていても衛星からの電波が望遠鏡のメインビームに入ると素子が破壊される。また、サイドローブに入っても受信機は飽和し観測ができなくなる。さらに、これらを防ぐためのロスがほとんどない超伝導ノッチフィルターは開発されておらずその

見通しもまだない。」と反対した。長時間にわたる議論の末に、周波数は94.0-94.1GHz, 世界中のミリ波電波天文台から衛星が見えるときには停波するなどの条件付きで新たな周波数の割り当てに合意した。そして、WRC 97で周波数は割り当てられた。しかし、いつから衛星を運用するのか、本当に上空で停波するのか、しっかり監視を続けて行かなくてはならない。

- 3) 30-50 GHz での高密度固定通信：いわゆるマイクロ波リンクである。WRC97で提案された周波数帯域は31.8-33.4 GHz, 40.5-42.5 GHz でいずれも電波天文バンドに隣接している。特に40.5-42.5 GHz は SiO J = 1-0 のメーザー線のすぐ近くとなり、この通信がデジタルであり拡散スペクトルになることを考えると、観測に大きな支障が出る可能性が予想される。
- 4) 47-50GHz での成層圏中継システム：冒頭でも紹介した飛行船を高度 20-80 km の成層圏に浮かべ、通信中継基地として利用しようとするもの。その第 1 陣である Sky Station の使用周波数はアップリンクが 47.2-47.5 GHz, ダウンリンクが 48.9-48.2 GHz である。マイクロ波レンズアンテナを並べ、約 700 のスポットビームでサービス範囲をカバーする。これは 98 年にテスト飛行を行い、99 年にプロトタイプを製作し、その後実用機を東京を含む大都市上空に設置することである。東京上空に飛行船をあげると野辺山からは高度約 8 度で見えてしまう。望遠鏡はこの角度に向かないのでメインビームで飛行船を見ることはないが、サイドロープで飛行船のサイドロープを見ることになる。
- 5) その他：60-70 GHz での自動車衝突防止レーダー、50-70 GHz の酸素バンド内を衛星間通信に用いるなど、これまで電波天文が技術開発し宇宙のささやきを聞き続けてきた周波数帯は、商用サービスの進出により使える領域が減ってしまう。

6. 電波天文コミュニティの目指す方向

これまで述べた状況を黙って手をこまねいて見てはいけないと思う。通信は確かに人間生活に欠かせない。しかし天文学をはじめとする学問、芸術、など人類が営々と築き上げてきた文化も人間生活を豊かにする。従って人間が自然を知りたいという根源的な知識欲への天文学の貢献を訴える、大学での講義・講演会などで理解を求める、様々なメディアで訴え続ける、などいろいろな方法で通信と電波天文学との共存をはかって行くことが必要であろう。我々は通信と違ってお金を生み出すために天文学をしているのではないのだから、別の観点を導入することが重要ではないだろうか。

また、これと平行して、帯域圧縮技術の開発、低損失ノッチフィルターの開発、など我々の装置を守るための技術開発も欠かせない。これらの努力は天文学に関わる人間であれば、それぞれがそれぞれの方法で実行可能である。ひとりひとりの努力の積み重ねが今必要なのである。

参考文献

- Handbook on Radio Astronomy, ITU (1995)
 Radio Regulations, ITU(1996)
 CRAF handbook for radio astronomy, 2nd edition (1997)

Crisis of Radio Astronomy

Masatoshi OHISHI

Astronomical Data and Analysis Center, National Astronomical Observatory of Japan 2-21-1, Osawa, Mitaka, Tokyo, 181-8588 JAPAN

Abstract: Commercial telecommunication services have been trying to utilize higher frequency regions where radio astronomy have lived peacefully. I explain an international rule to use frequencies, and report current and probable interferences to radio astronomy from other active telecommunication services. I would like to propose what we need to do to protect radio astronomy.