National Institute of Information and Communications Technology

宇宙天気に関わる最近の動向

情報通信研究機構
宇宙環境インフォマティクス研究室長
石井　守

本日のトピックス

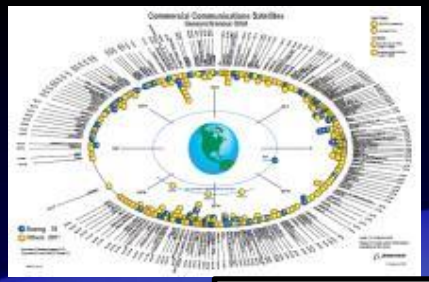
- 【初めての方向け】宇宙天気とは
- 宇宙天気最近の動向
- 宇宙天気利用者調査中間報告
- 宇宙天気に関連する国際動向
- NICTの宇宙天気研究
- まとめ

What is “Space Weather”?

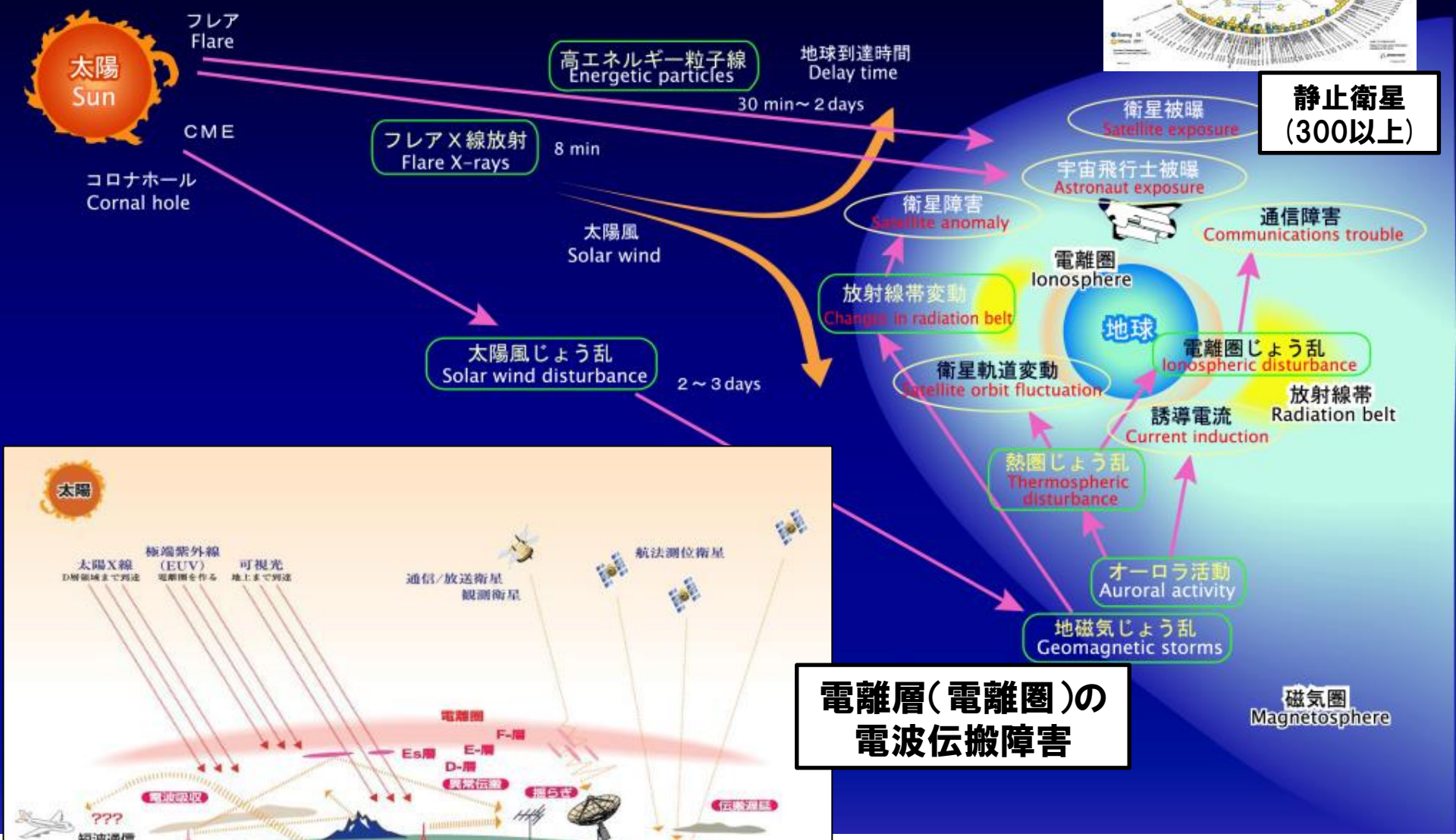
宇宙天気とは

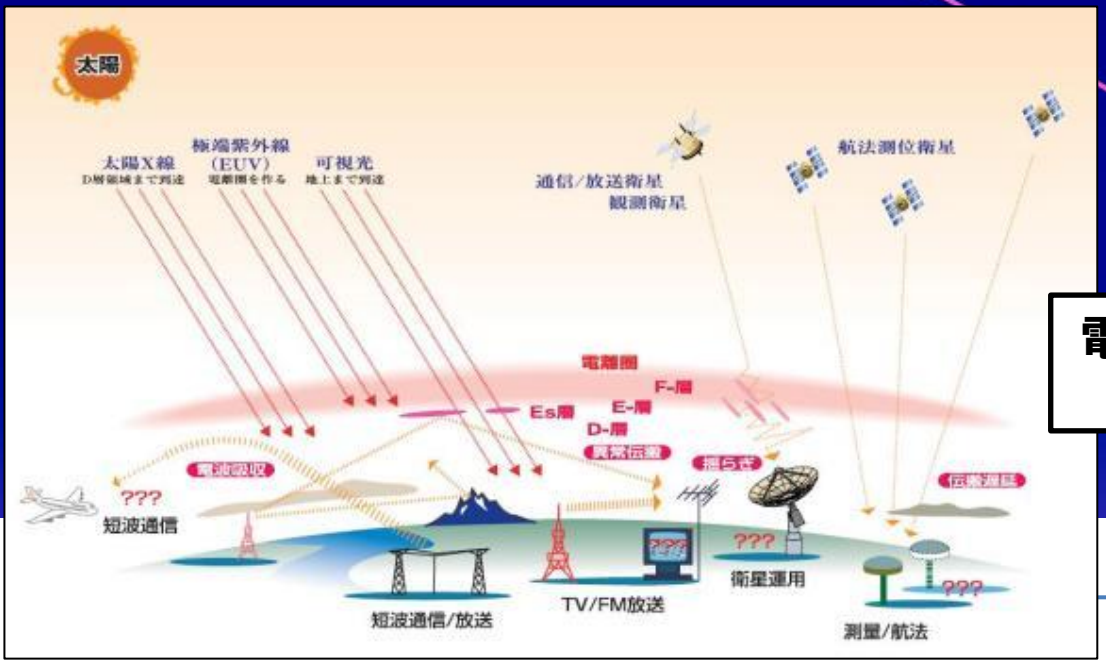
宇宙天気のターゲット

宇宙環境に起因する衛星障害



静止衛星（300以上）

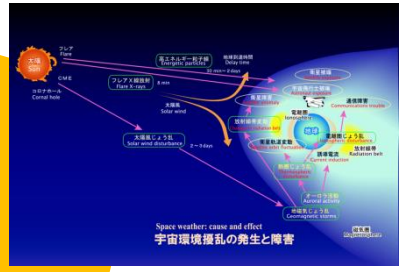




電離層（電離圏）の電波伝搬障害

ー電波警報から宇宙天気予報へー

短波による
長距離通信の時代 → 有線ネットワーク
による通信の時代 → 宇宙開発・利用の時代



電波警報の国際組織IUWDS（現ISES）発足。地域警報センターとして加盟。

1962年

短波通信に対する電離圏の影響を通報・予報する「電波警報」を実施。

1940年代

1950年代

太陽活動が電離圏に与える影響の研究が盛んに。

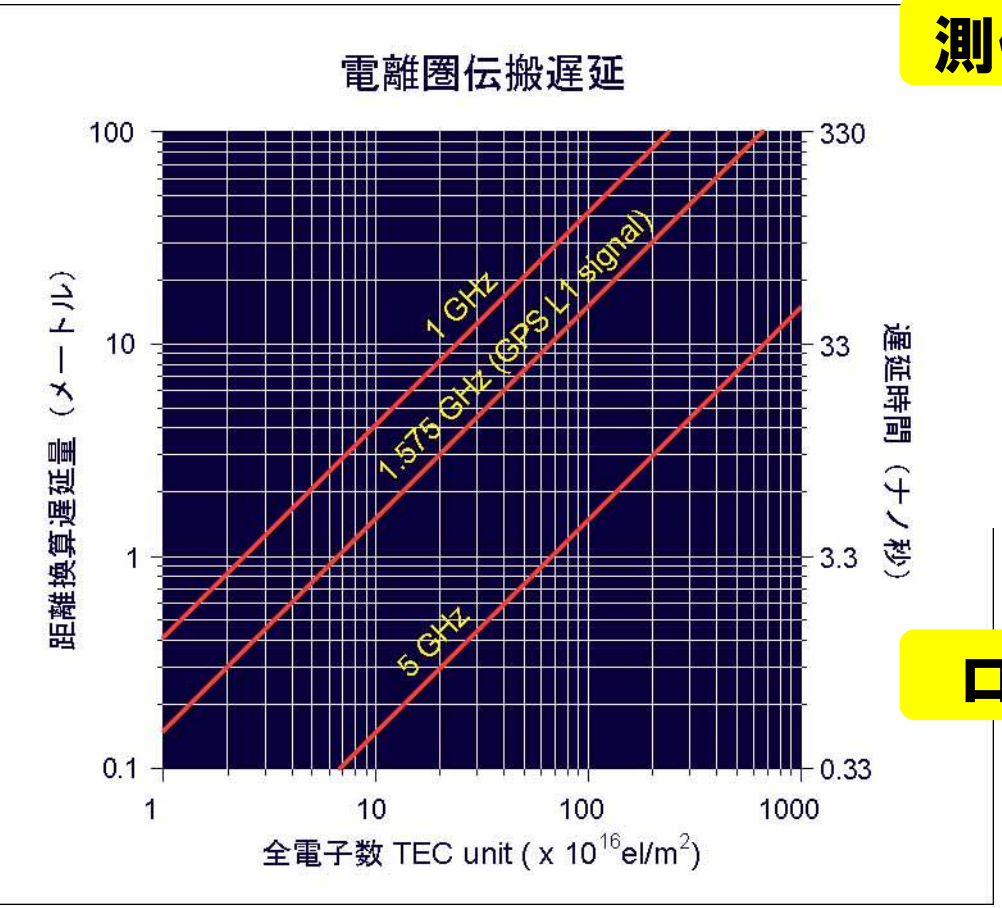
1988年

世界に先駆け、「宇宙天気予報の研究開発」に着手。

1995~　米国National Space Weather Program
2002~　ESA Space Weather Application Pilot Project

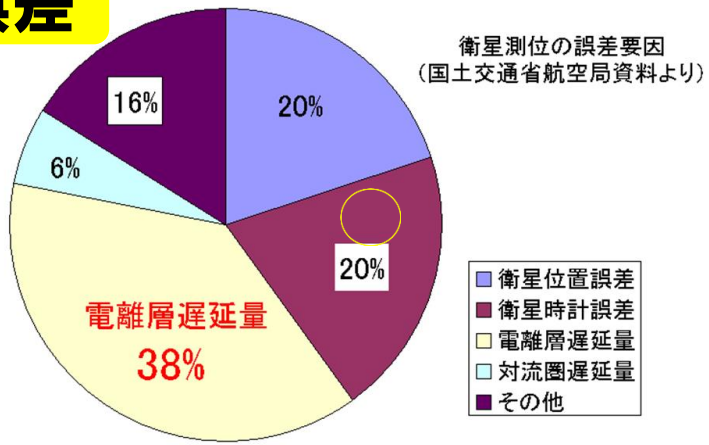
電波研（RRL） → 通総研（CRL） → 情報通信研究機構（NICT）

GNSSによる精密測位に対する電離圏の影響



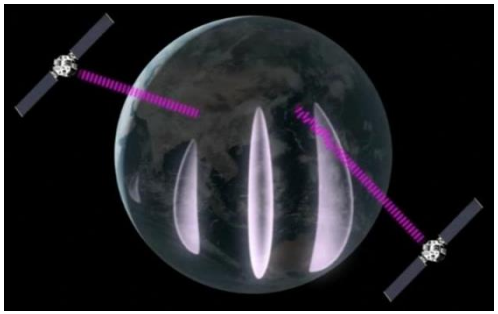
GNSS衛星電波は、経路上の全電子数によって、伝搬遅延を生じる。伝搬遅延は高精度測位の誤差要因となる。但し、電離圏による遅延については、2周波数の測位信号を常時利用することで補正可能。

測位誤差



衛星測位の誤差要因のうち、約4割弱が**電離層遅延量による影響**。

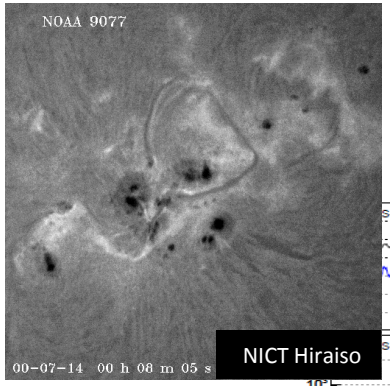
ロック損失

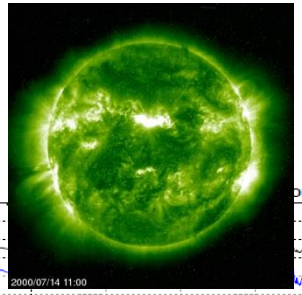


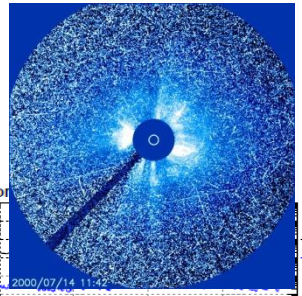
中・低緯度では、プラズマバブルと呼ばれる電離圏の泡（低密度領域）による電波の揺らぎで、**GNSS信号が受信できなくなる**ことがある。

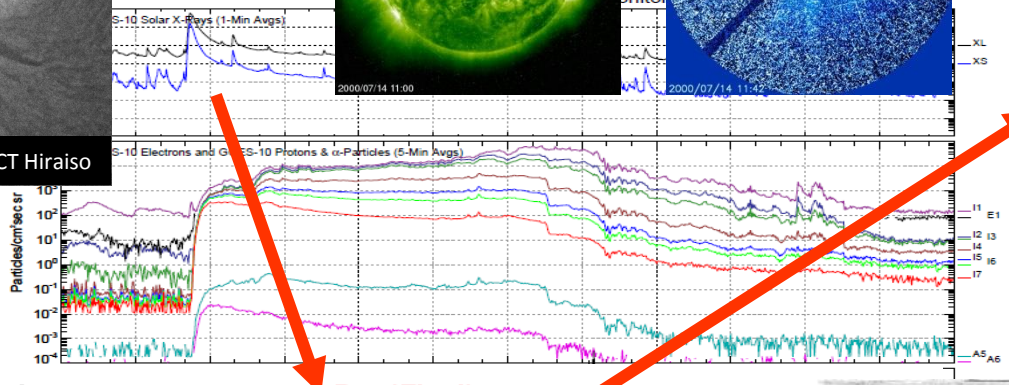
あすか衛星障害（制御不能） 2001年

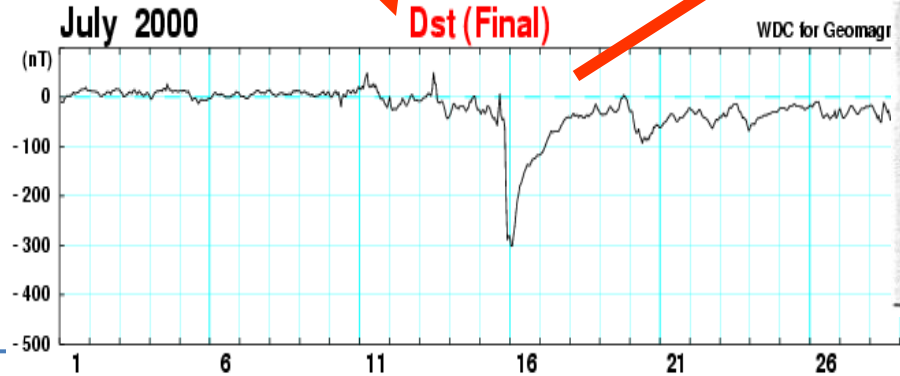
2000年7月に強い地磁気嵐によって地球大気が膨張し、大気摩擦によりあすか衛星の姿勢制御ができなくなった。その結果、観測を継続できなくなり、2001年3月に衛星運用を終了した。

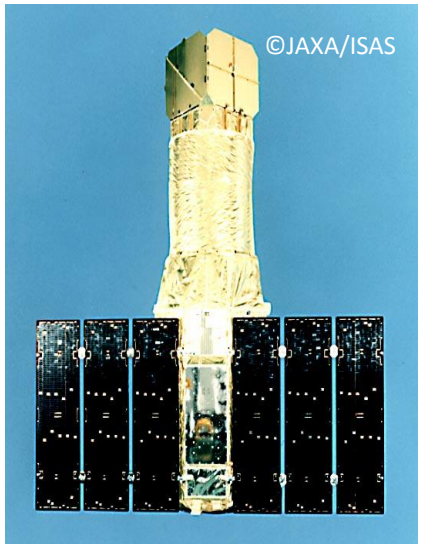






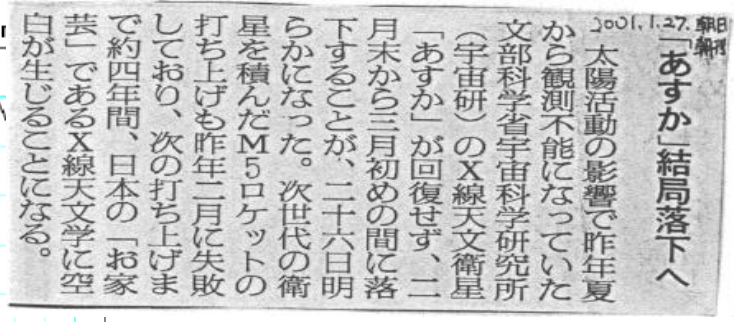






X線天文衛星あすか

朝日新聞　2001.1.27



2001.1.27. 朝日新聞

「あすか」結局落下へ

太陽活動の影響で昨年夏から観測不能になっていた文部科学省宇宙科学研究所（宇宙研）のX線天文衛星「あすか」が回復せず、二月末から三月初めの間に落下することが、二十六日明らかになった。次世代の衛星を積んだM5ロケットの打ち上げも昨年二月に失敗しており、次の打ち上げまで約四年間、日本の「お家芸」であるX線天文学に空白が生じることになる。

NICT 宇宙天気予報センター

ISES 予報センター間の予報情報およびデータの交換・共有

実時間宇宙天気モニタリング観測

シミュレーション結果

- フレア予測
- 地磁気活動予測
- 高エネルギー粒子予測
- 短波電波伝搬状況予測

NICT 宇宙天気予報センター

スタッフ：パーマネント職員10名、有期研究員4名、技術員・補助員等5名

Webアクセス数:
158,057件/月
（2013年5月）
e-mail登録数:
9,271件（6/20現在）
FAX登録数:
17件（6/20現在）

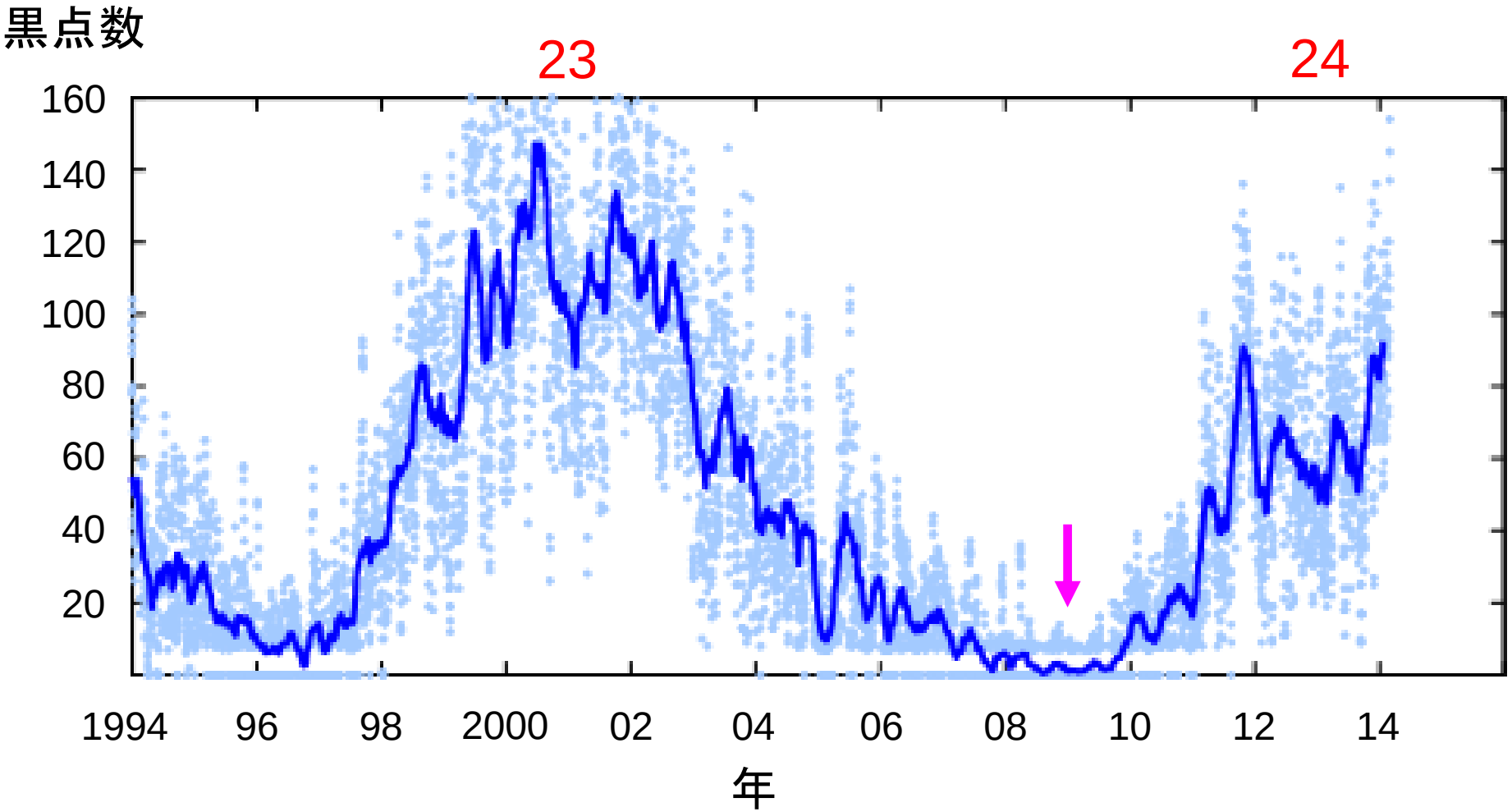
太陽活動や地球周辺の宇宙環境の現状と予測をWeb,電子メール、RSS、FAX等により配信。大規模現象時にはプレスリリース等でも注意を喚起。

国内の主なユーザ：衛星運用機関、航空関係機関、電力事業者、短波利用機関、物理探査事業者、大学・研究機関等学術機関、アマチュア無線　等

How is Space Weather recently?

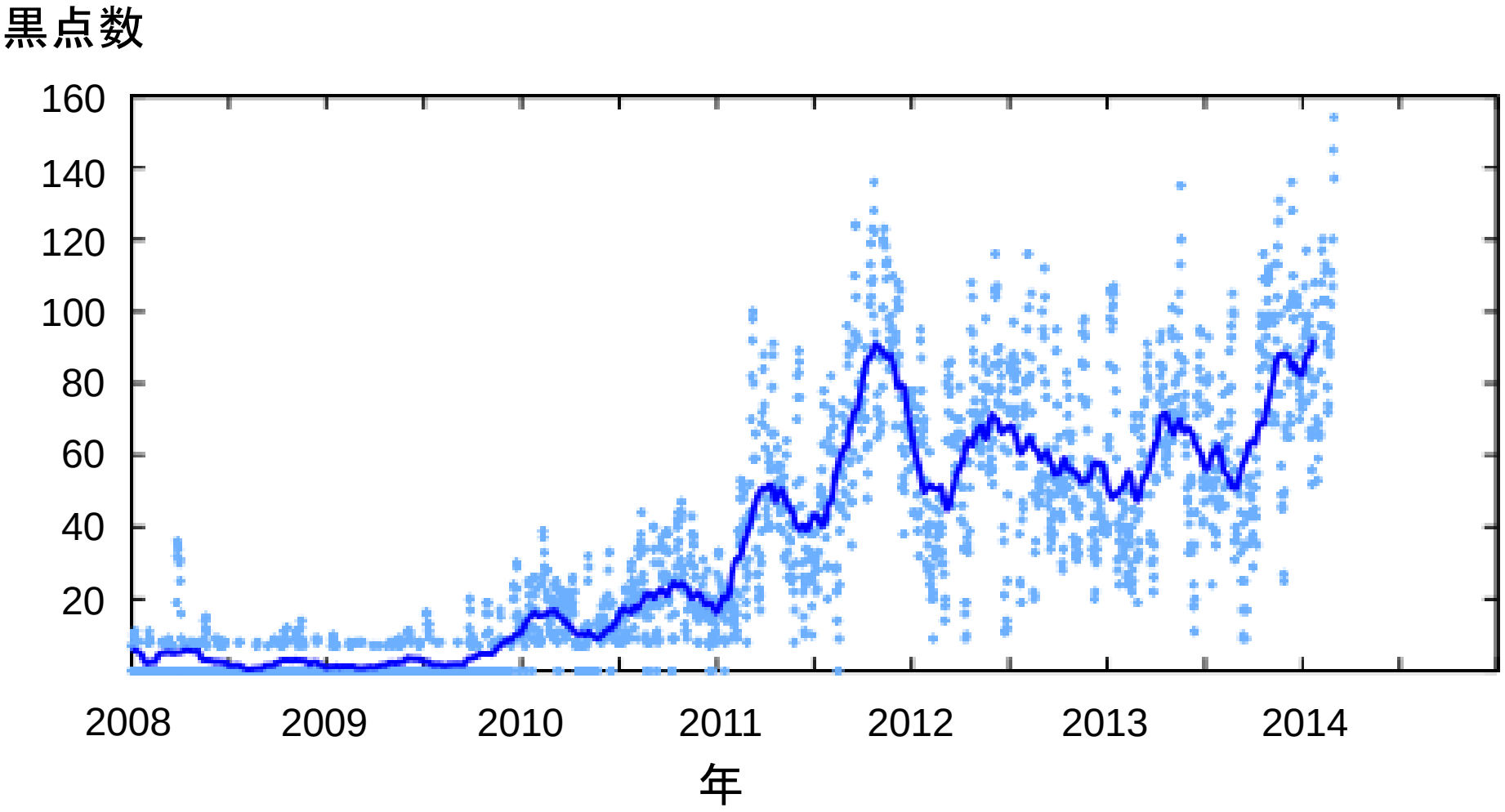
宇宙天気現象の最近の動向

1994年以降の太陽黒点数

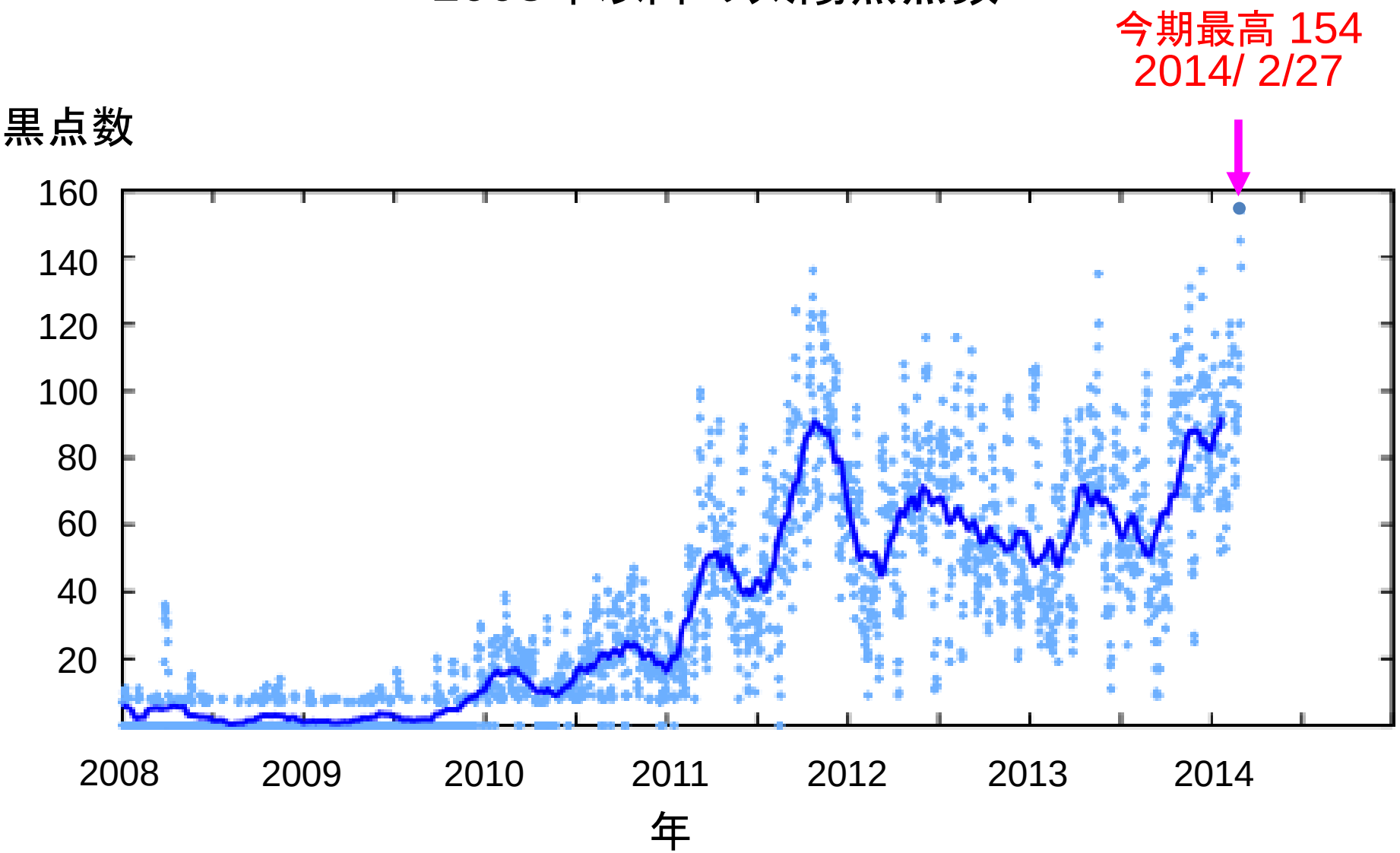


以下本コーナー鹿児島高専篠原学氏提供

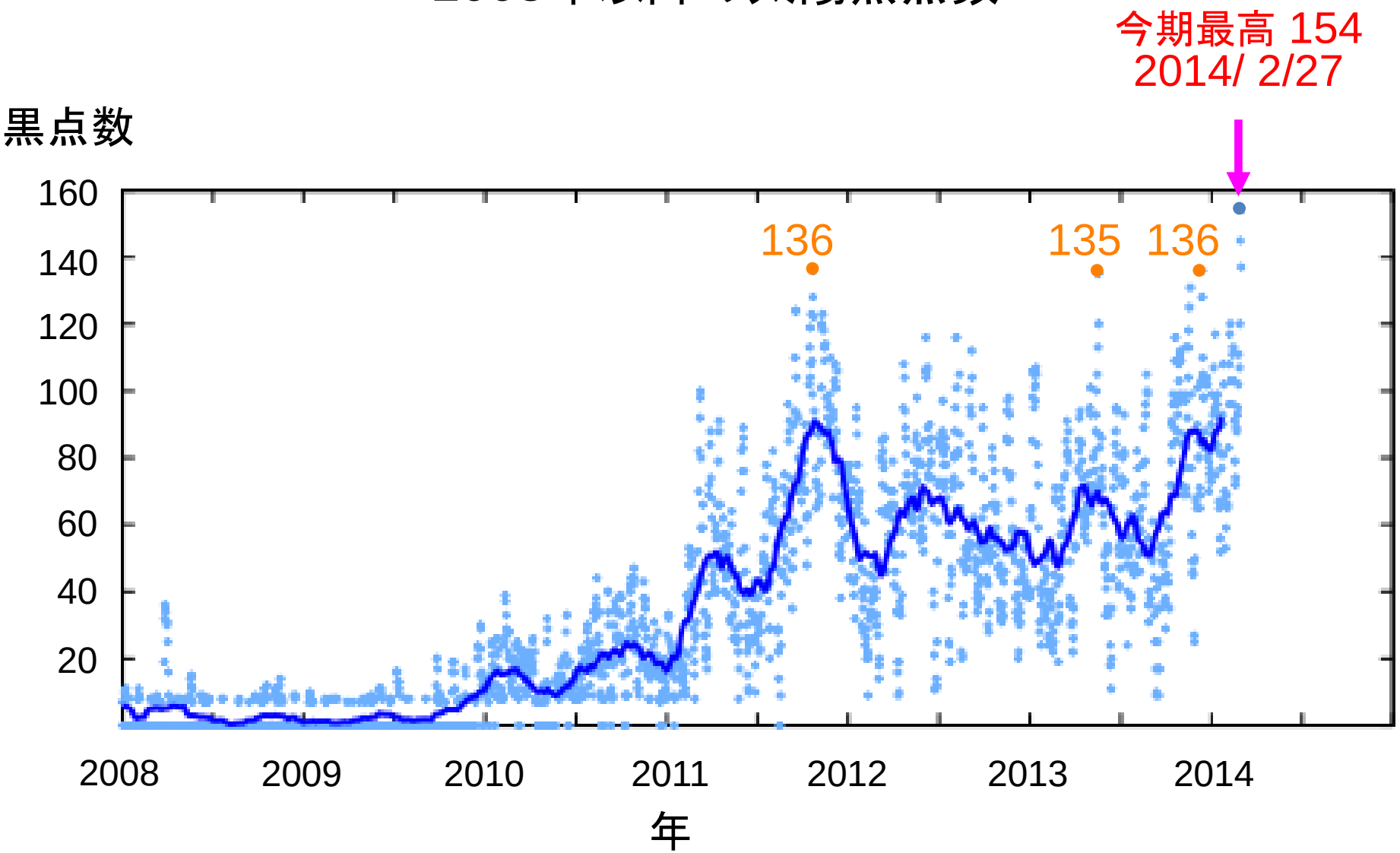
2008年以降の太陽黒点数



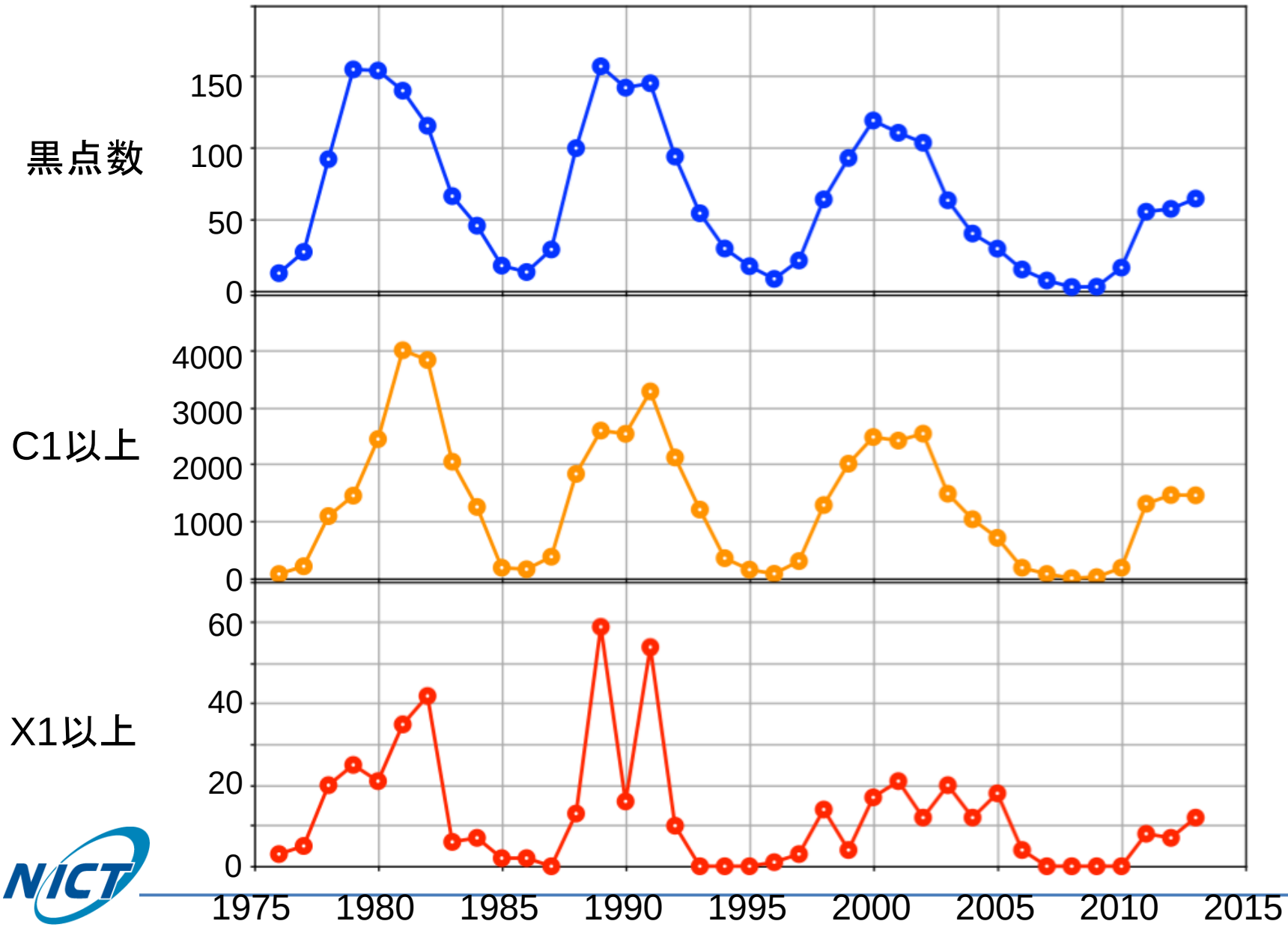
2008年以降の太陽黒点数



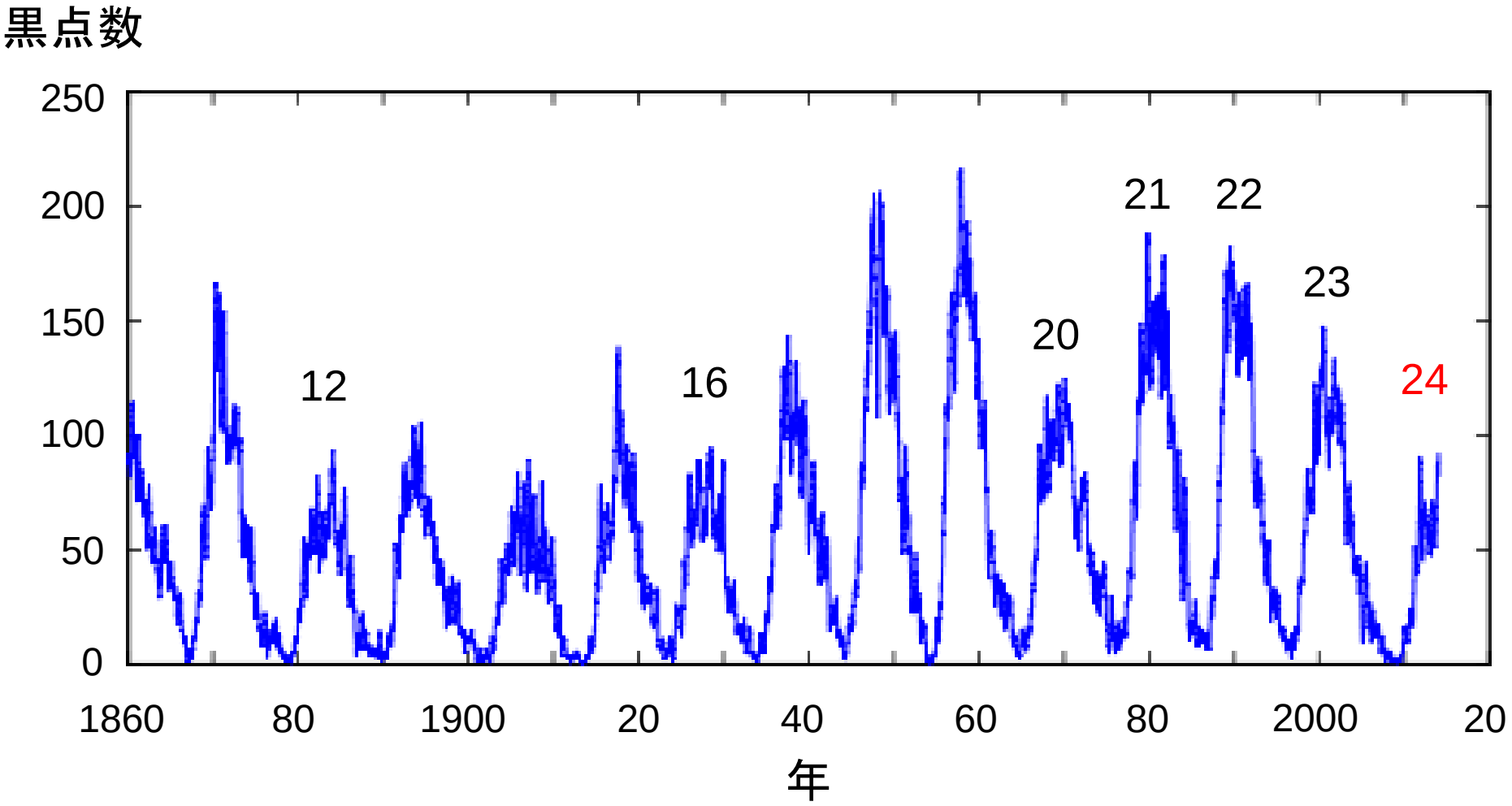
2008年以降の太陽黒点数



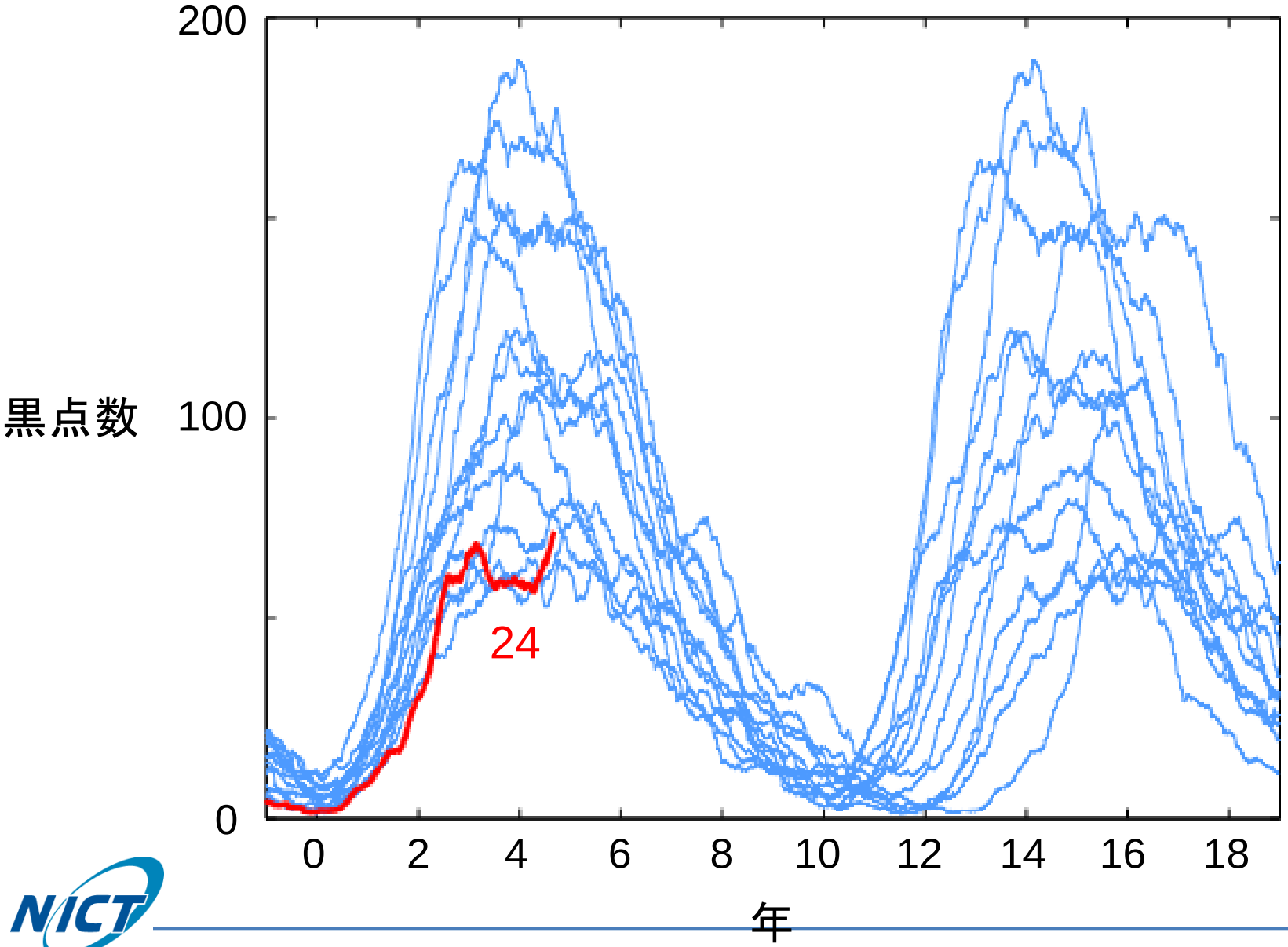
1976年以降の黒点数とフレア発生数



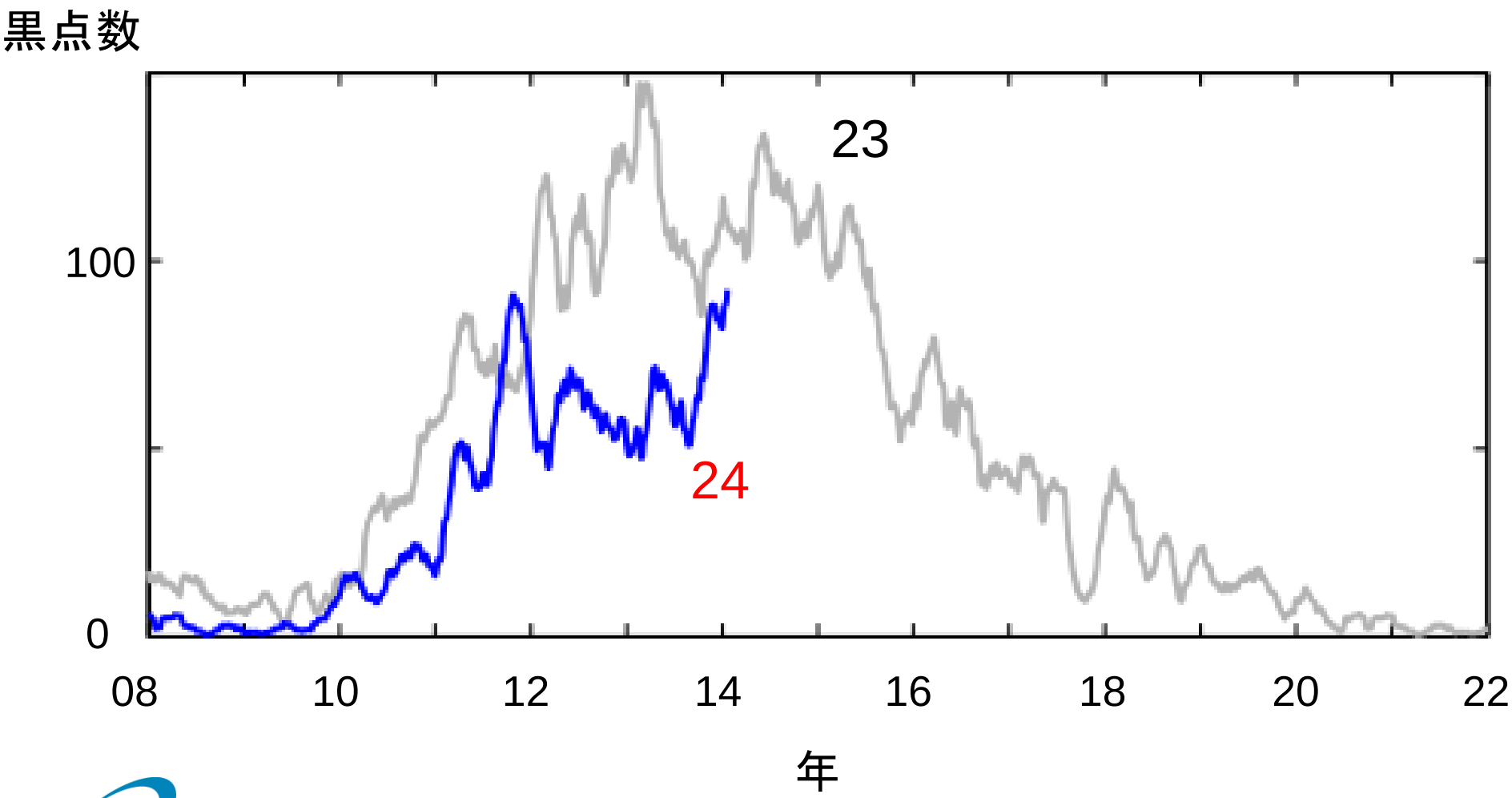
1860年以降の太陽黒点数



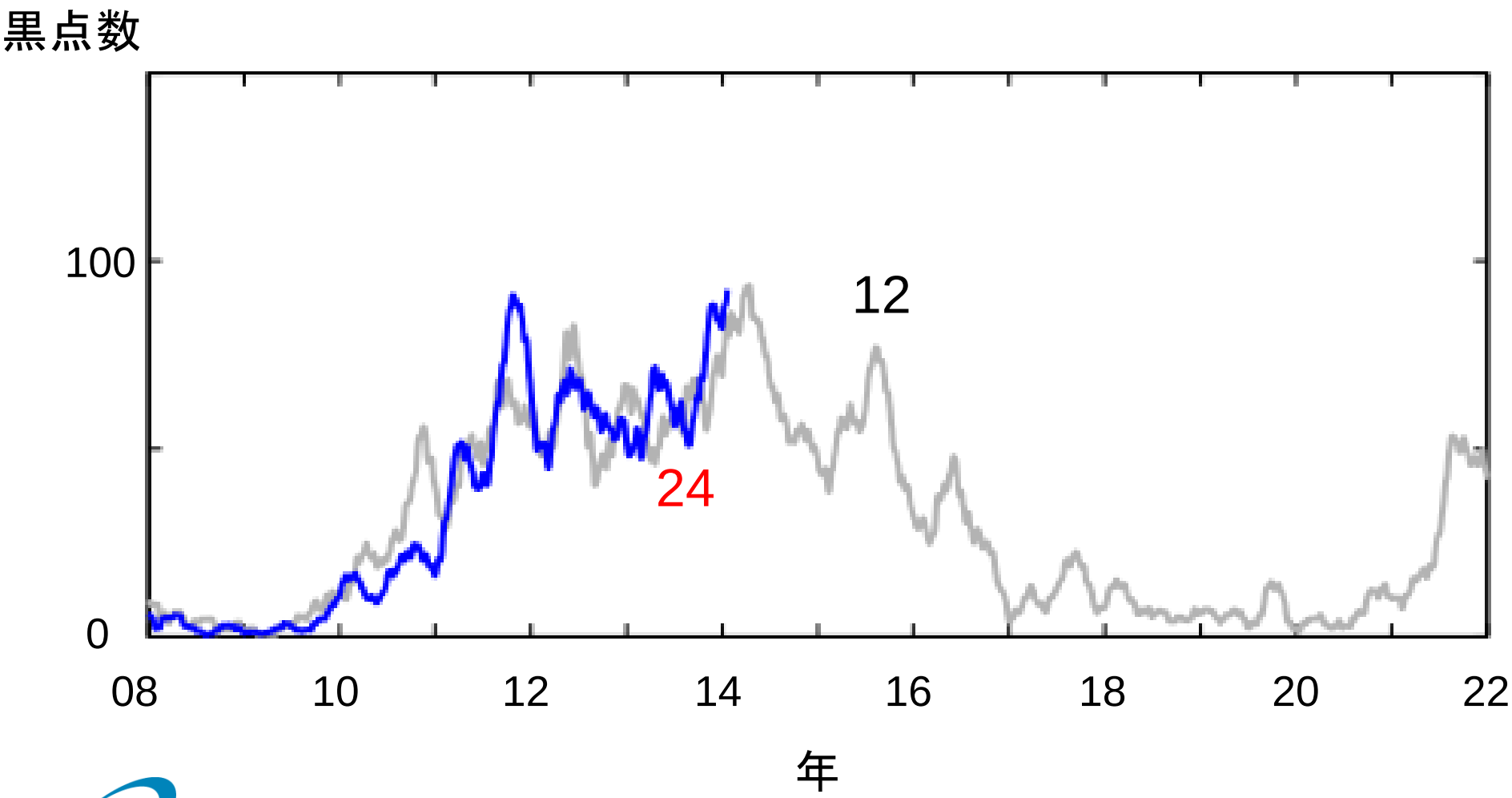
第11期(1855年)以降の活動周期を比較



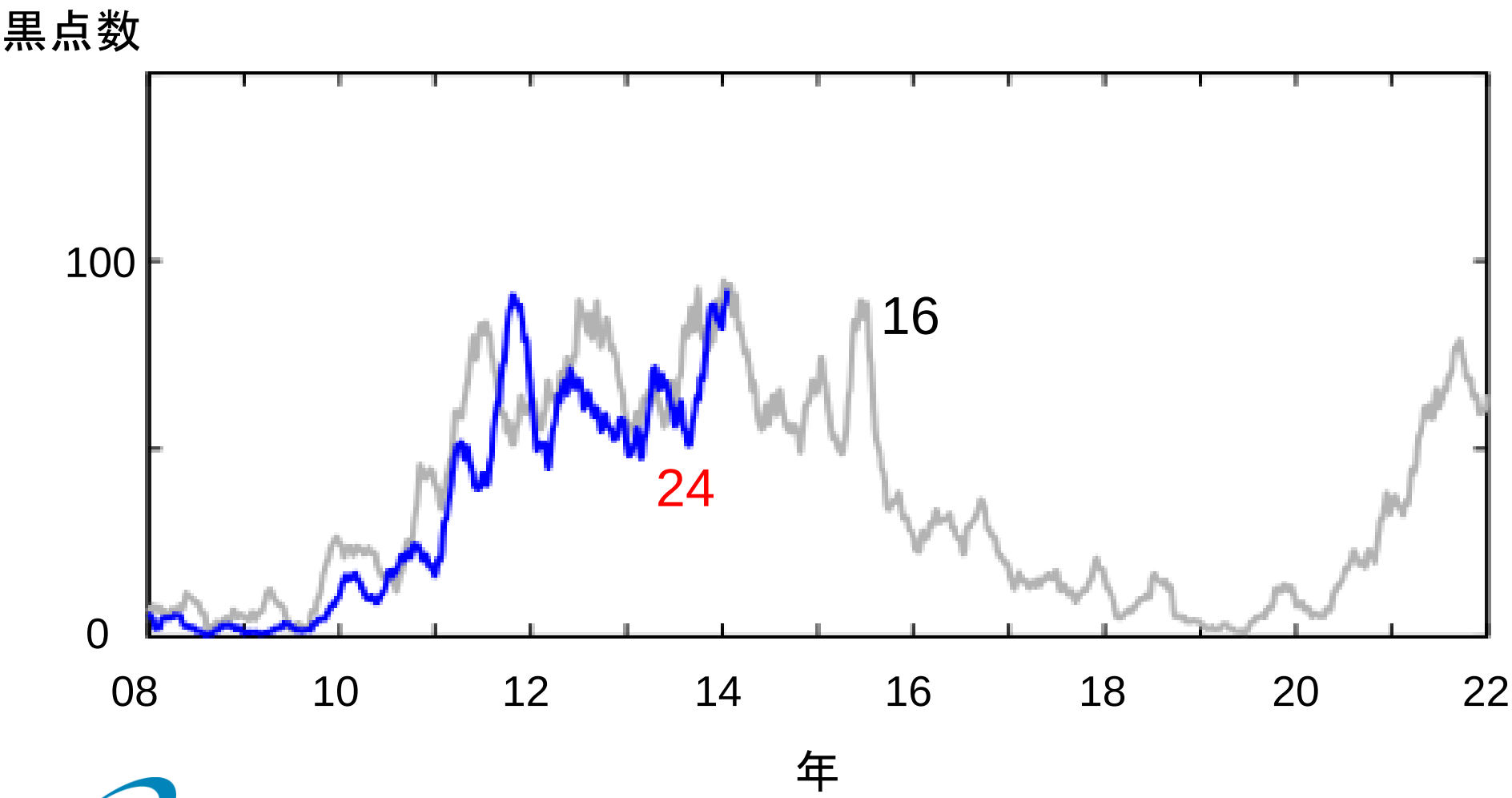
第24期と第23期の活動周期を比較



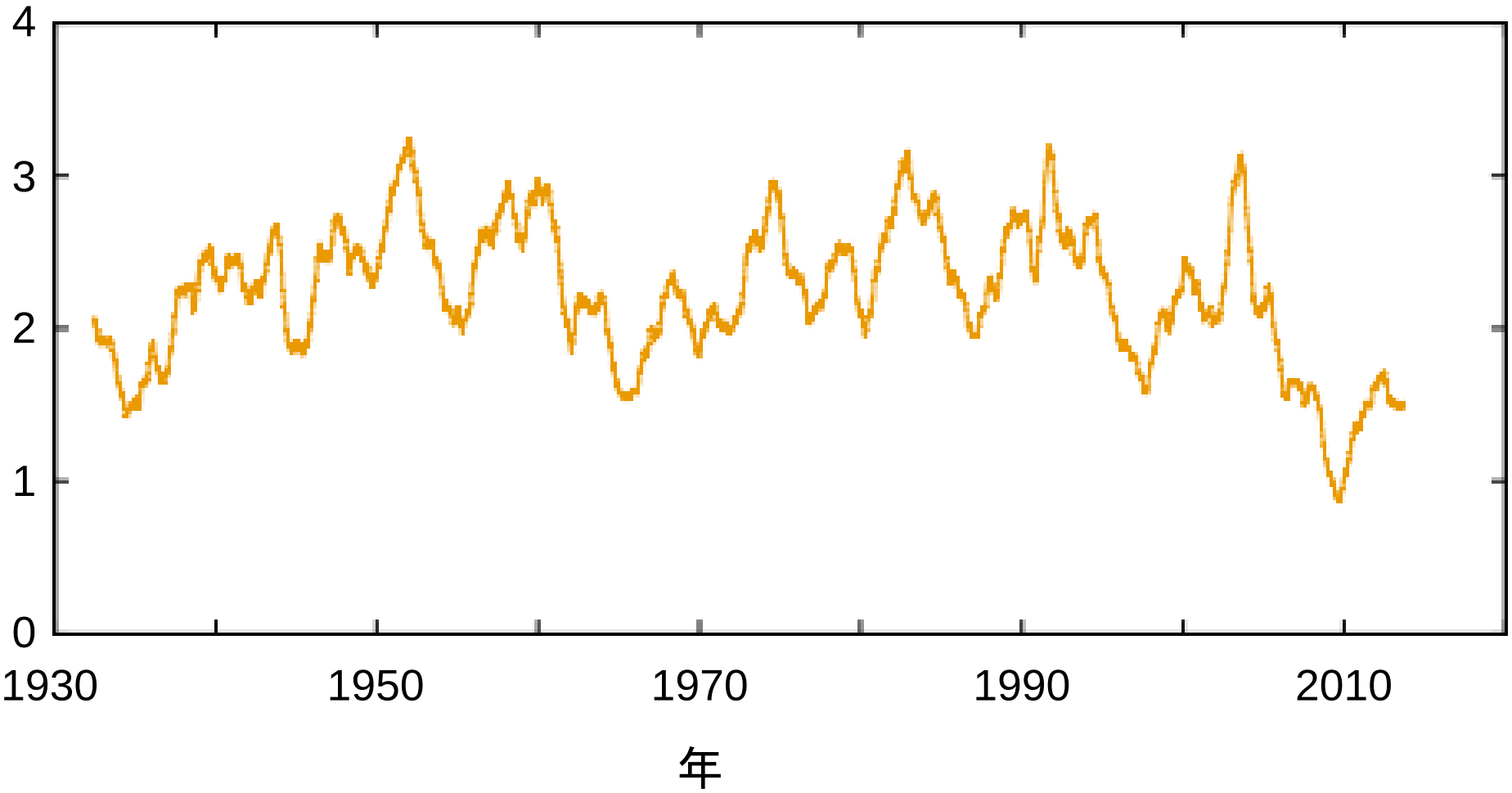
第24期と第12期の活動周期を比較



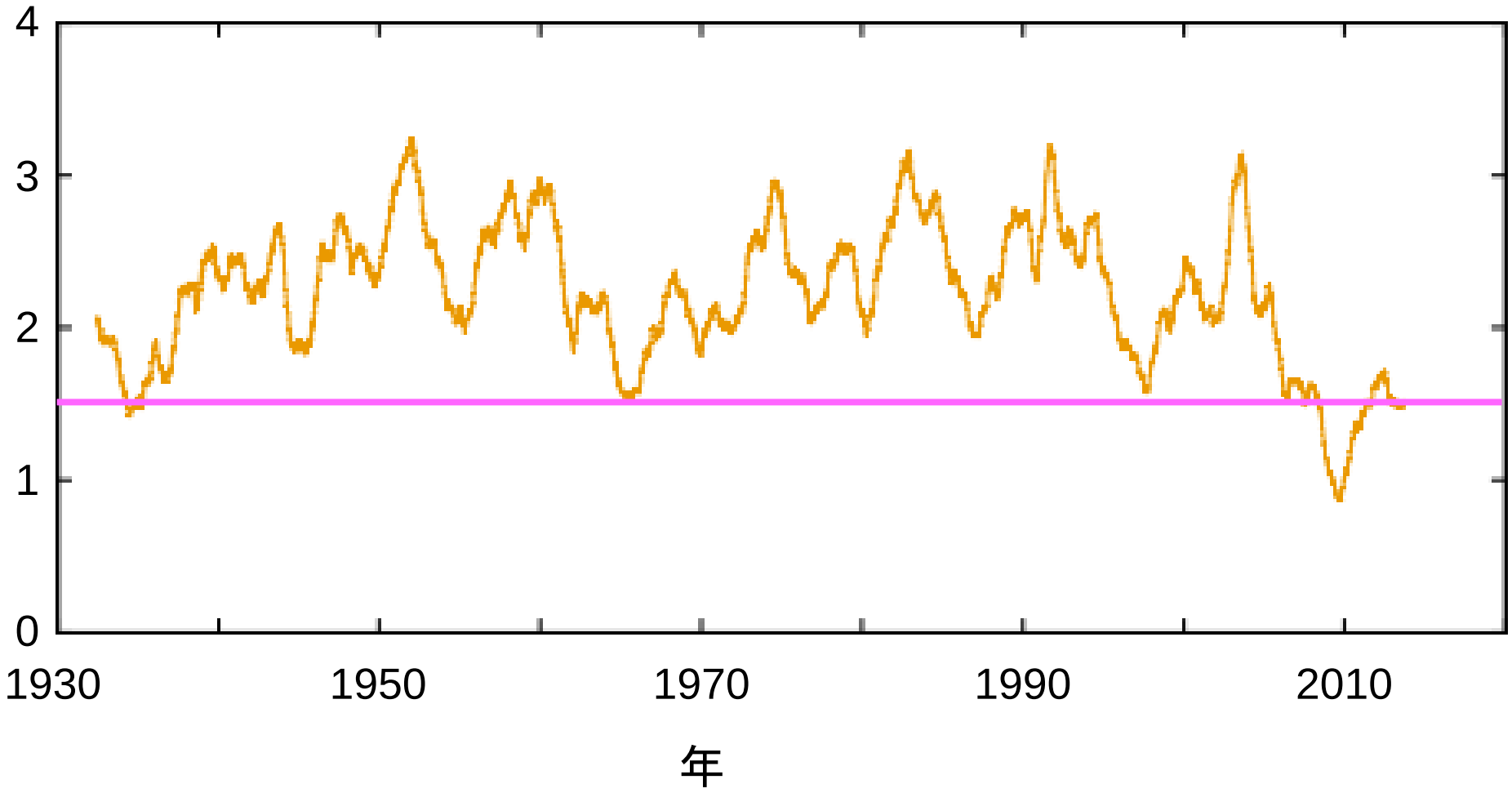
第24期と第16期の活動周期を比較



1932年以降のKp指数(1年平均)の変化



1932年以降のKp指数(1年平均)の変化



最近の宇宙天気状況のまとめ

- サイクル24のピークは2013年5月と言われていたが、2014年に入りまた上昇傾向にある。
- サイクル２４は確かにこれまでに比べると太陽活動が低いが、異常というほどではない。
- フレア発生回数、地磁気活動ともに低目推移。

How do the users utilize space weather information?

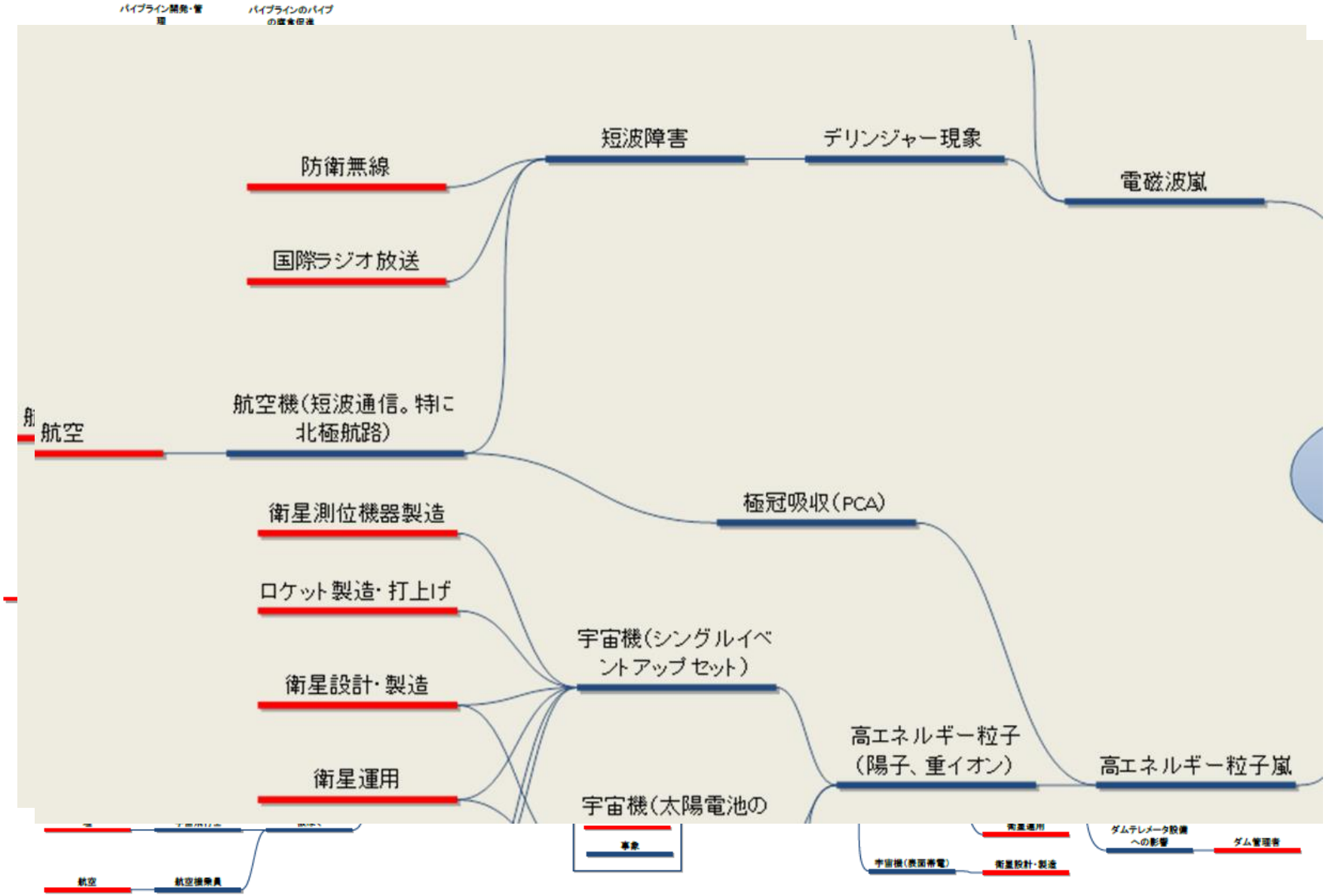
-Preliminary Report-

宇宙天気利用者調査　中間報告

宇宙天気利用者調査の実施

- 日程：平成25年1月～3月、平成26年1月～3月
- 方法：
  - 関連分野の抽出
  - 電話調査
  - 対面ヒアリング：計10社に対して利用状況や要望を伺う。（個別情報は公開しない約束のもと）

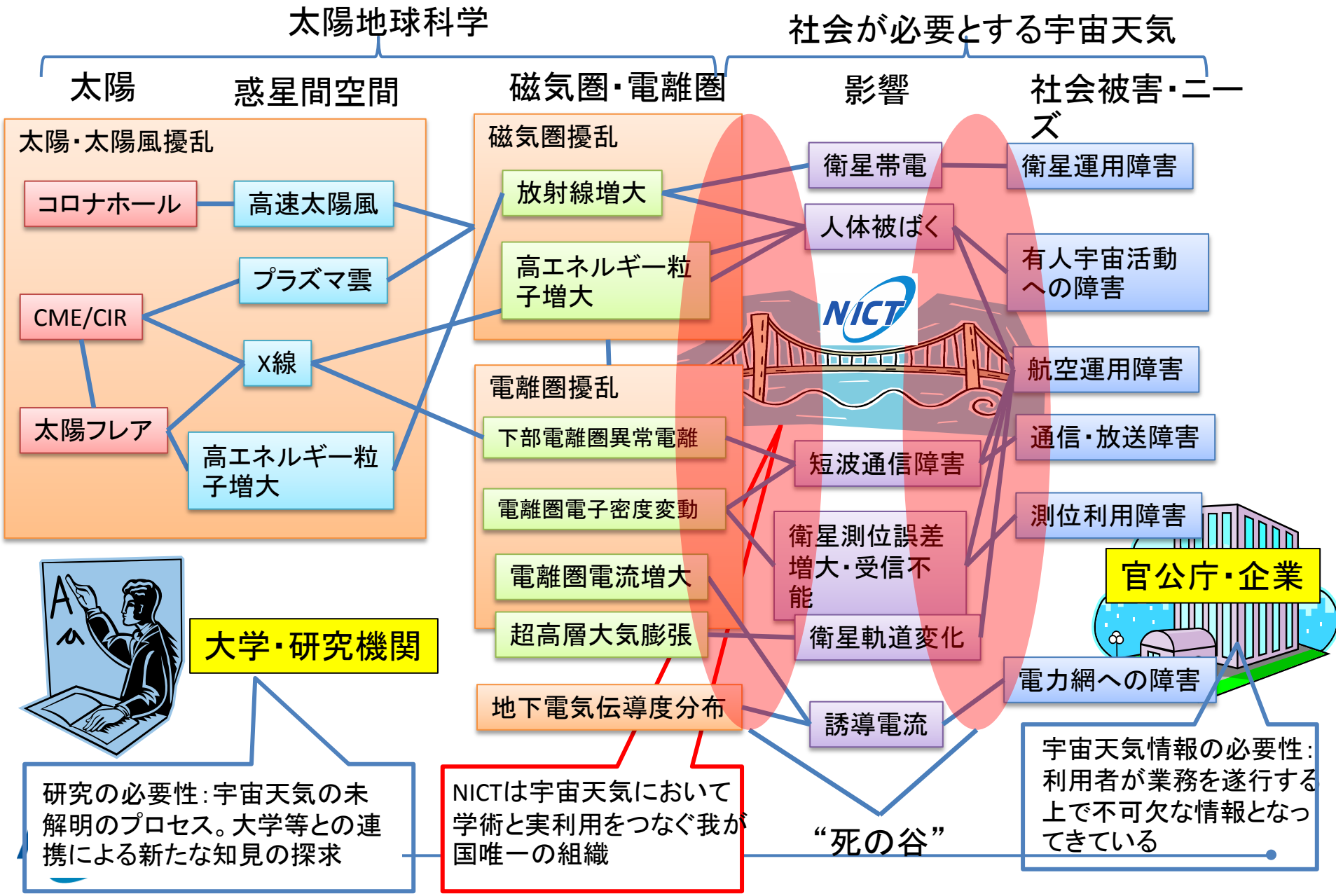
宇宙天気利用関連分野の抽出



結果概要

- 「宇宙天気」というキーワードがほとんど世間に認知されていない。
- 「宇宙天気情報」を利用している事業者は、もともとアマチュア無線等で情報に詳しい人がいて、その指導の下に職場でも利用を始めたケースが多い。
- 要望
  - 分かりやすい情報提供：Webの構成をわかりやすくし、それぞれの情報の解説を入れてほしい。
  - 宇宙天気情報の利用の仕方について研修してほしい。

宇宙天気におけるニーズ・シーズの関係



宇宙天気利用ニーズ聞き取りの課題

- 宇宙天気による被害、影響の情報はネガティブ。
  - 利用者にあまり知られたくない情報なのでオープンな議論が難しい？

各事業者さんと信頼関係を築くとともに、守秘義務を明確にする

↓

より実利用で「使える」宇宙天気情報の提供に繋がるのでは？

How does the other countries think about space weather?

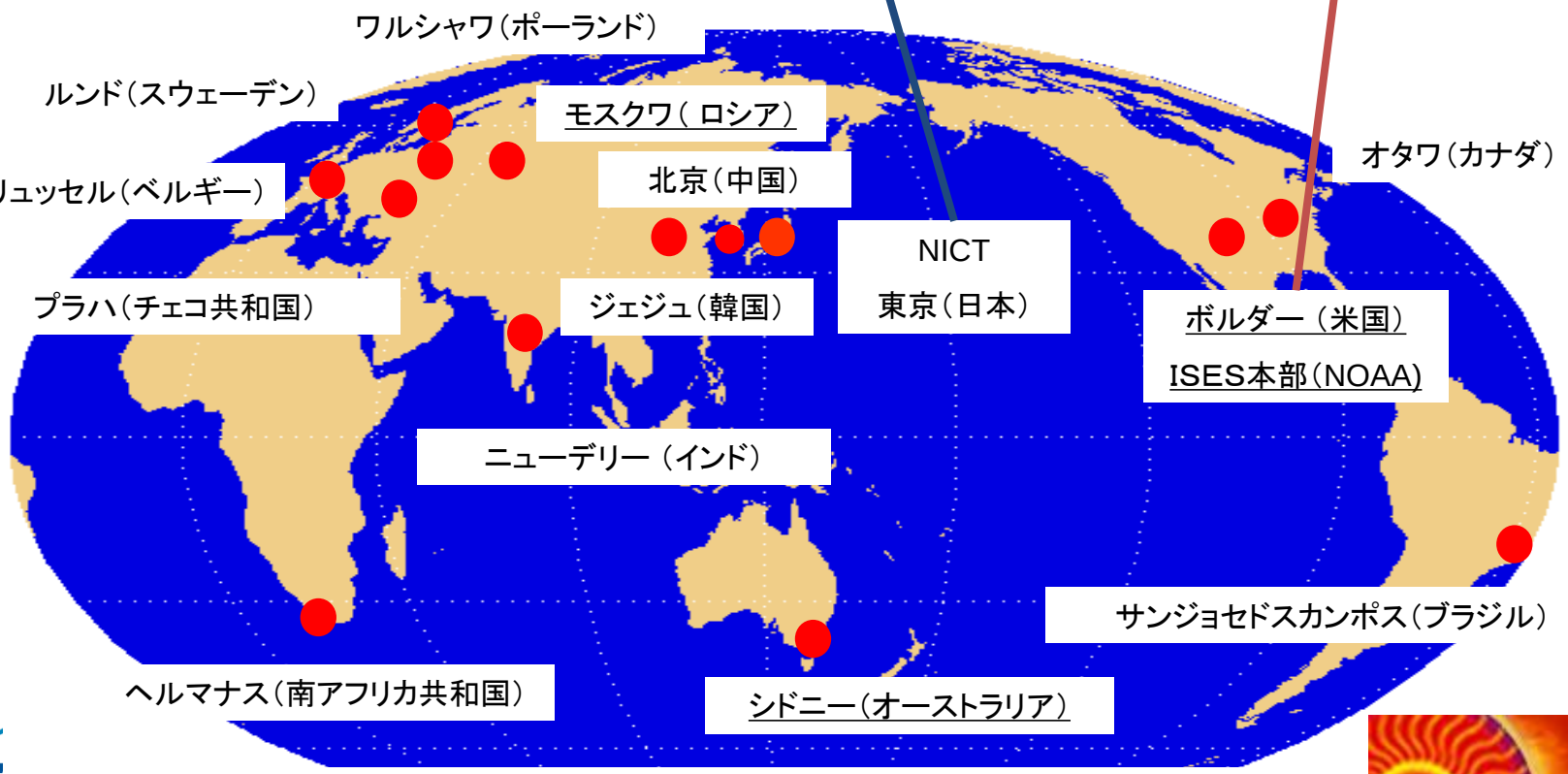
宇宙天気政策をめぐる国際動向

ISES: 国際宇宙環境サービス

（14か国が加盟。ESAがCollaborative Expert Centerとして参加。）

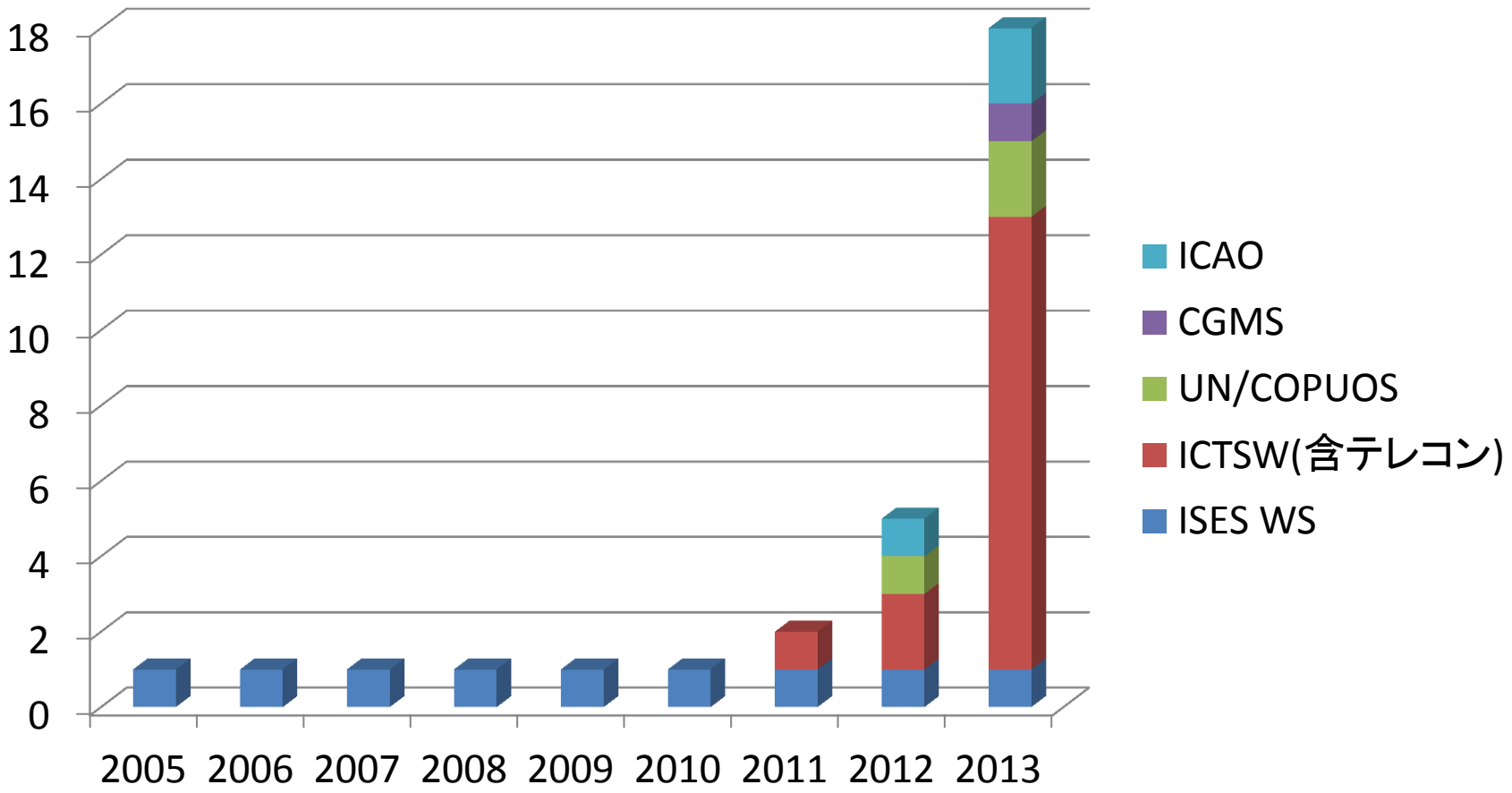
局所的電離圏観測や地磁気観測の地上観測網が充実している他、独自の宇宙天気数値予測モデル（太陽風、磁気圏、電離圏）の開発を実施。

太陽監視衛星、太陽風監視衛星、静止軌道衛星など多くの衛星を運用し、データを提供。



国際協力によって宇宙天気予報を推進。

宇宙天気に関する国際会議数の推移



宇宙状況認識
（Space Situation Awareness: SSA)

- 米国軍事要求から発生
- 宇宙開発利用の包括的な安全安心のための状況認識
  - 検討開始　米国：20世紀後半、欧州：2006年ESA
  - 我が国では2013年1月の「宇宙基本計画」の改正で盛り込まれる
- 具体的対象
  - スペースデブリ
  - 宇宙天気
  - 地球近傍天体（小惑星・隕石）

世界の宇宙天気（運用）関係組織

国連

宇宙平和利用委員会（UN/COPUOS）

ISWI (International Space Weather Initiative) WG 2009~2011

Long-Term Sustainability WG 2011~2014

国内WG（JAXA）2011~

国際民間航空機関（ICAO)

IAVSWOPSG (International Airways Volcano Watch Operations Group) 2009~

世界気象機構（WMO)

ICTSW (International Coordinate Team for Space Weather) 2009~

国際科学会議（ICSU）

国際宇宙環境サービス（ISES）

Space Weather Workshop (NOAA)

European Space Weather Week

Asia-Oceania Space Weather Alliance (NICT) 2010～

国際組織の動向（宇宙天気予報関連）

UN COPUOS（国連　宇宙平和利用委員会）長期的宇宙活動維持WG 宇宙天気専門家会合（EG C）

・宇宙天気予報の観点から、長期的な宇宙活動維持に必要な５つのガイドラインと２つの勧告を含む報告書を作成中。

WMO ICTSW（世界気象機関 宇宙天気国際共同チーム）

・ISESと協力して宇宙天気予報業務に必要な観測データの検討や、ICAOのConOps作成に協力。

ICAO（国際民間航空機関）

・ISES, WMOの協力の元、短波による通信、GNSSによる精密航法の2点に関して宇宙天気情報の航空利用の運用コンセプト（ConOps）を策定中。

COSPAR Space Weather Roadmap Study Group（宇宙空間委員会 宇宙天気ロードマップ研究グループ）

・宇宙天気予報業務に必要な観測データ、予測モデル、予報のニーズに関するロードマップの作成に着手。

宇宙天気情報の航空機運用への利用義務化

- 国際民間航空機関(ICAO)第3付属書：航空機の運行責任者等に提供しなければならない気象情報を規定。
- 現在、宇宙天気情報を含めるよう第3付属書の改定が進められている。
- 宇宙環境インフォマティクス研究室は長年培ってきた宇宙天気の知見を活かし、データ提供への寄与を目指して企画戦略室と連携し、総務省、気象庁と検討を進めている。

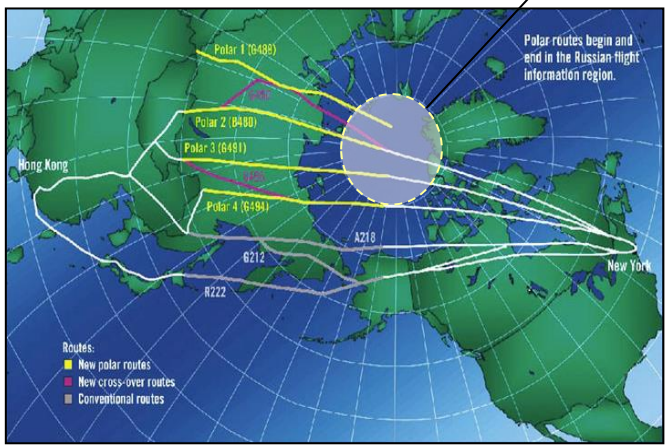
背景

- 航空運用において、宇宙天気情報は通信・測位・被ばくの3つの点で重要
  - 通信：短波通信のみ利用可能な極域において宇宙天気現象による通信途絶が発生しうる。
  - 測位：宇宙天気現象による測位誤差増大、衛星測位の使用不能
  - 被ばく：太陽宇宙線の増大による極域航路での被ばく

ICAO宇宙天気センター

- 航空機関への情報提供を行うセンターは領域ごとに設定される見込み
- 日本としての対応を関係機関と調整中

短波通信のみが可能な領域



2014年2月
ICAO国際航空路火山監視運営部会にて検討

承認

2014年7月
ICAO気象部門会合

承認

2016年秋頃
ICAO総会

反映

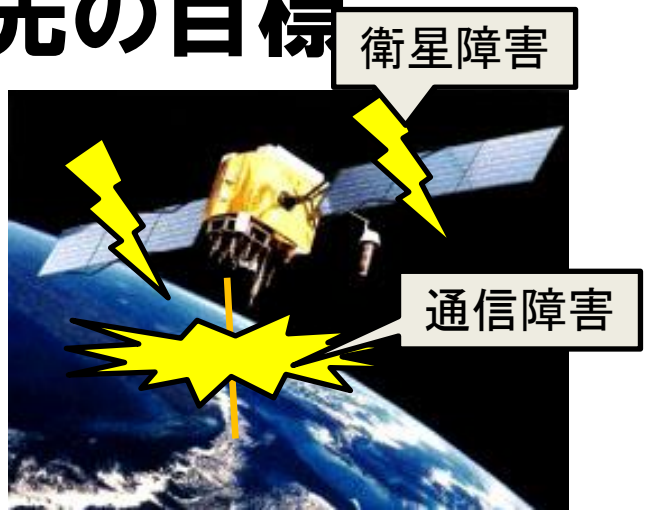
国内航空法改正

航空機の宇宙天気情報利用

What does NICT do for space weather?

宇宙天気に関するNICTの取り組み

中期計画およびその先の目標



- 電離圏電波伝搬障害の予報技術
- 静止軌道上電磁環境の予報技術
- その先にあるものは･･･
  - 自然由来の電磁環境の把握と対策
  - 1000年に一度の極端現象（超巨大フレア）の際の国民生活への影響を科学的な見地からシミュレーションし必要な対策をとるための助言を行う（無用な不安を解消する）。
  - 人工由来のEMCと連携し総合的な電波利用の安心･安全を実現

EMC
- 人工由来の不法･不要電波の他機器･人体への影響
- 防護のための標準化･指針策定

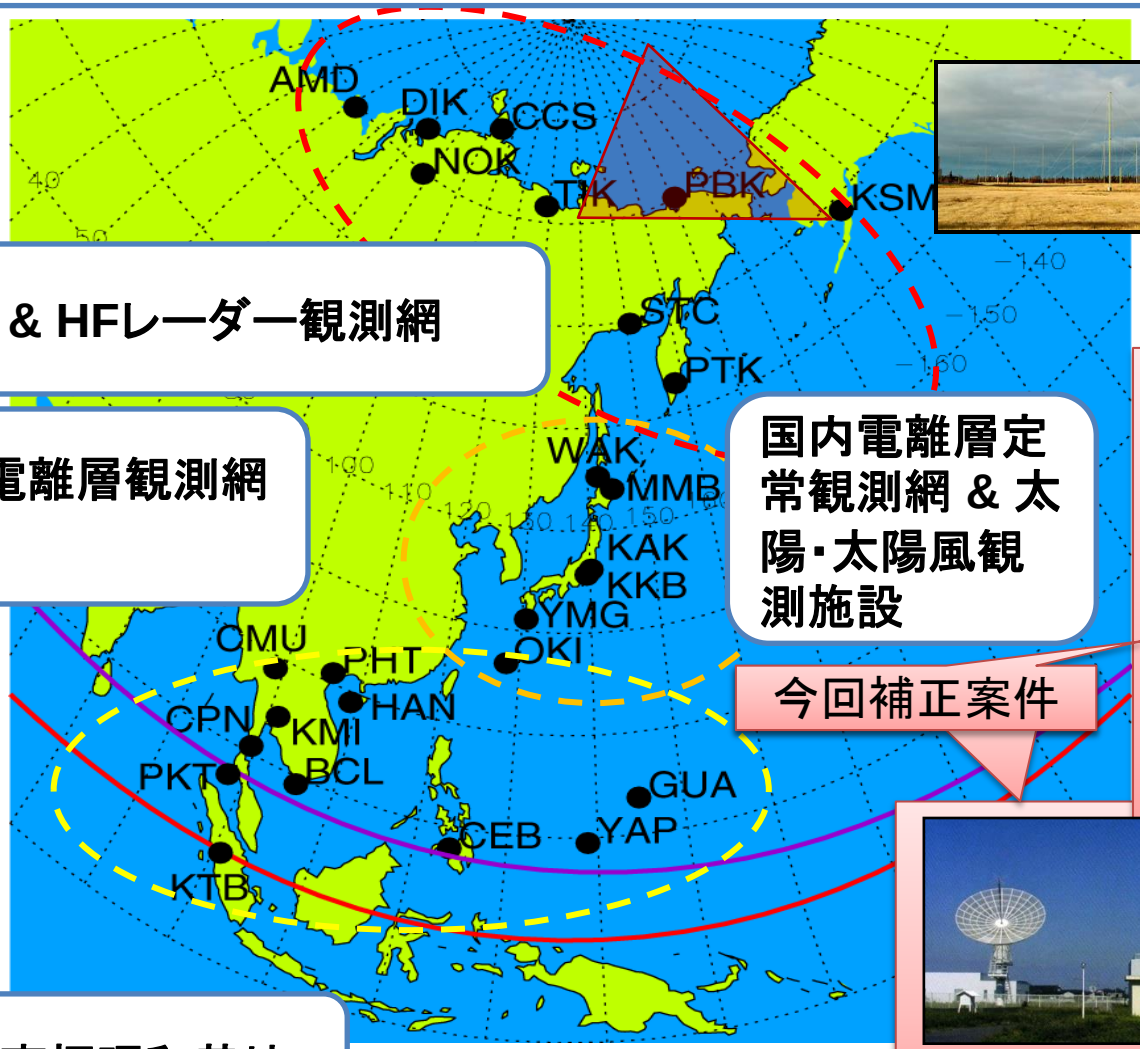
宇宙環境
- 自然由来の電波の衛星･電子機器･人体への影響
- 影響評価･明確な警報基準の策定

→ 安定な電波の利用

NICT 宇宙天気モニタリングネットワーク

インフォマティクス技術による観測ステータスのモニタリングが実現

磁力計



HFレーダー

極東磁力計 & HFレーダー観測網

東南アジア電離層観測網 (SEALION)

国内電離層定常観測網 & 太陽・太陽風観測施設

今回補正案件

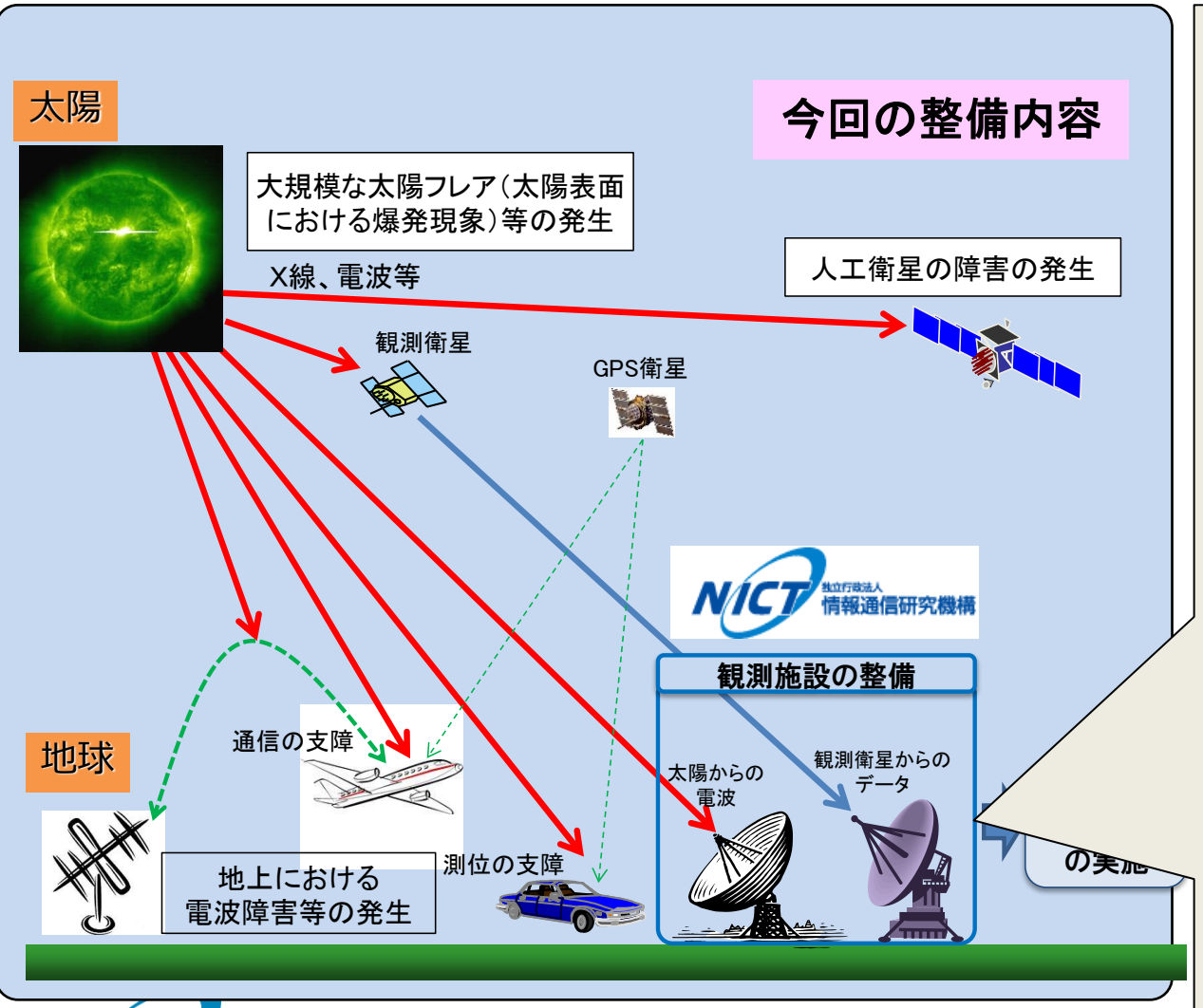
ACE受信アンテナ

イオノゾンデ

南極昭和基地

平磯太陽観測施設

平成25年度に新たに整備した装置



太陽電波観測装置

太陽風観測装置

まとめ

- 2009年ごろから始まった現在サイクルでは太陽活動は低目推移、但し「過去に例がない」レベルではない。
- 一方、今後の推移がこのまま低く推移するかは分からない。例えば近年最大の18、19サイクル級が来たとき、今の社会インフラの耐久性で十分か？
- 学術と実利用の両輪を進めることでしかこの疑問に答えることはできない。
- 今回の低レベル推移は天が人類に与えた猶予期間かもしれない。