

地磁気永年変化と考古地磁気学

畠山 唯達

(岡山理科大学 情報処理センター)





自己紹介

- 畠山唯達(はたけやま ただひろ)
- 岡山理科大学情報処理センター
- 「地球惑星物理学演習(@東大地惑)」の初代受講生
→ 計算機は”自力更生”
- 学問的専門は地磁気・古地磁気

よろしく願いいたします。



地磁気 (Geomagnetic Field)

- 固体惑星としての地球が持つ磁場です。
- 主にコアにおけるダイナモ作用で生成・維持しています。
(他の固体惑星・衛星では残留磁化や誘導磁化も)
- 非常に”双極子的”ですが、そうでない成分もあります。
- 強大な磁気圏を形成します。
- たまに逆転します。
- そのほかにも**ずっと変動**しています。
(まったく変動が無かったことなどありません)



地磁気の変動

現在の地磁気

双極子(棒磁石) + 非双極子

地磁気は変化してきた(流体が作る電磁石)

観測: 方向も強度も変化する

成分: 双極子も非双極子も変化する

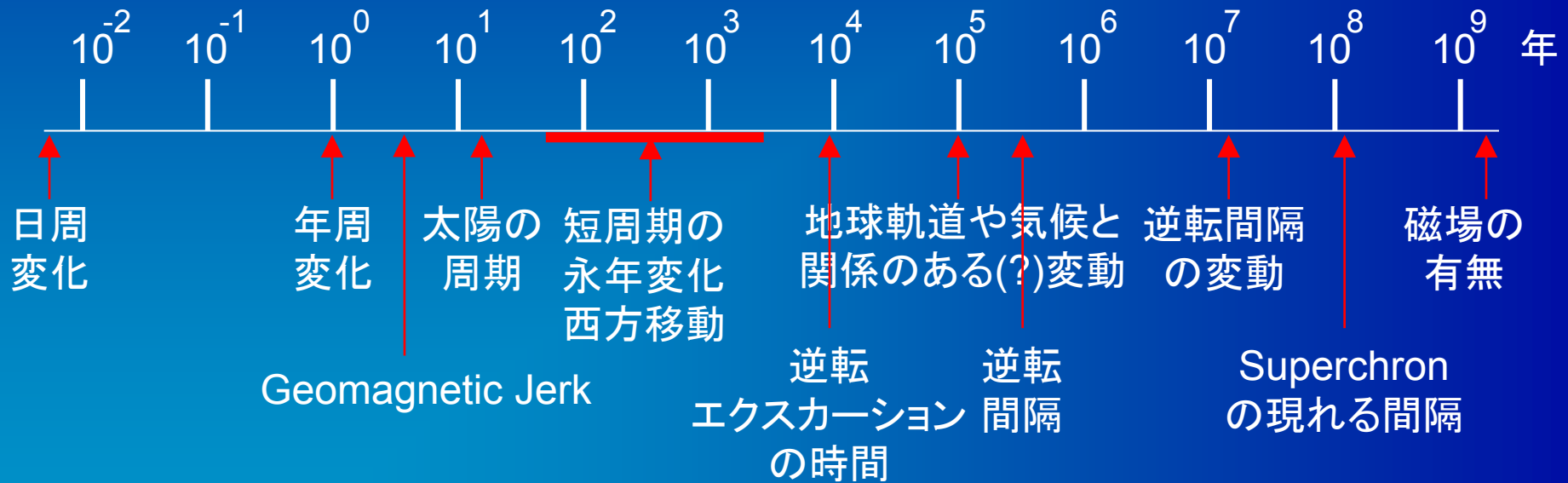
→ 観測する場所で変化が違う

周期性が弱い(無い)



地球磁場の変動

地磁気変動のタイムスケール

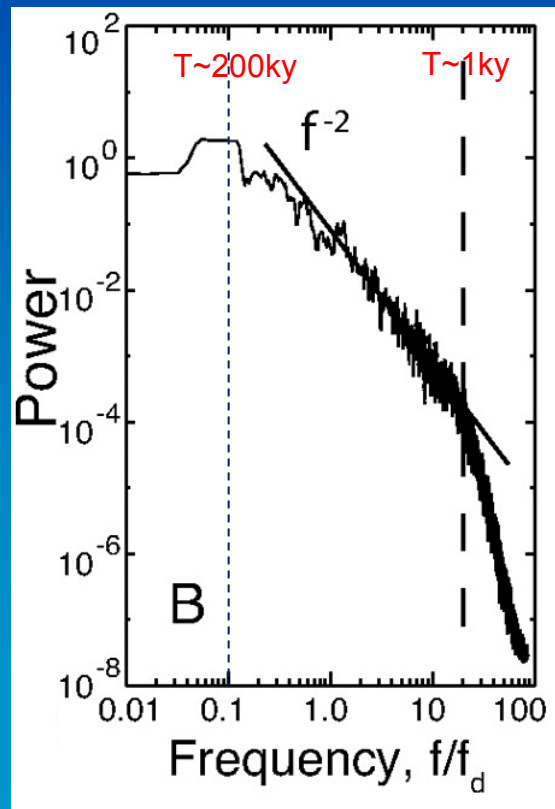


…とはいえ、はっきりとした周期はない

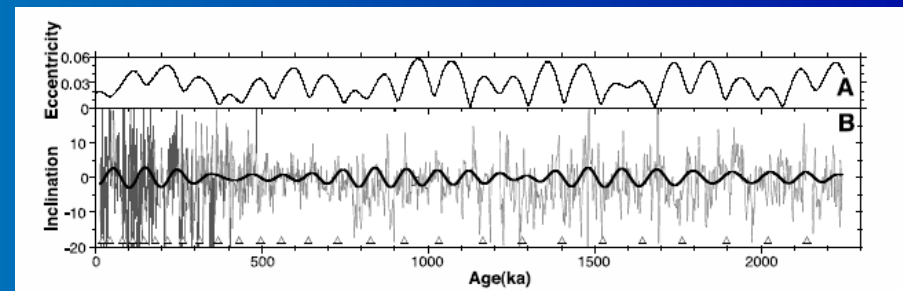
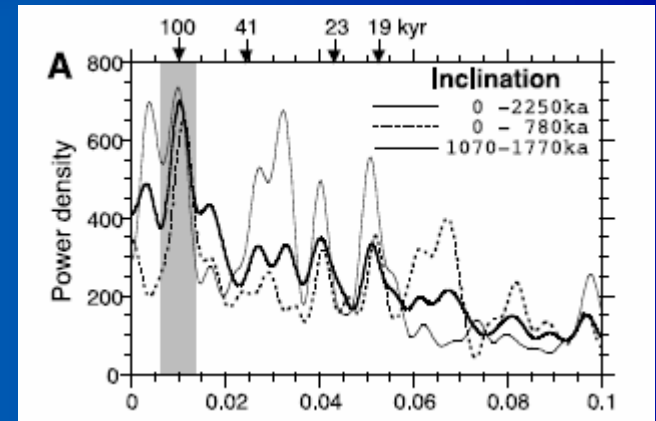


変動周期と特徴的時間スケール(?)

ダイナモ計算の例(Olson, 2007)



海底堆積物の古地磁気
(Yamazaki & Oda, 2002)



周期性や特徴的時間スケールがはっきりあるのかどうかは議論的



地磁気永年変化 (Geomagnetic Secular Variation)

- とくに数年～数百万年スケールの変動を指す
(地磁気逆転を含んだり、含まなかったり)
- 強度にも方向にも現れる
 - 短い時間スケールでは方向(≒非双極子)
 - 長い時間スケールでは強度(≒双極子)と方向(≒非双極子)
で議論することが多い



古地磁気学の大目標(のひとつ)

過去の地球・惑星の物理状態を推量できる

地球磁場の時間変化(の特徴)を明らかにする

個々の古地磁気データ

= ある地域のある時間の古地磁気データ(方位・強度)



データの集約

→ ある地域の時間変化(方位・強度)

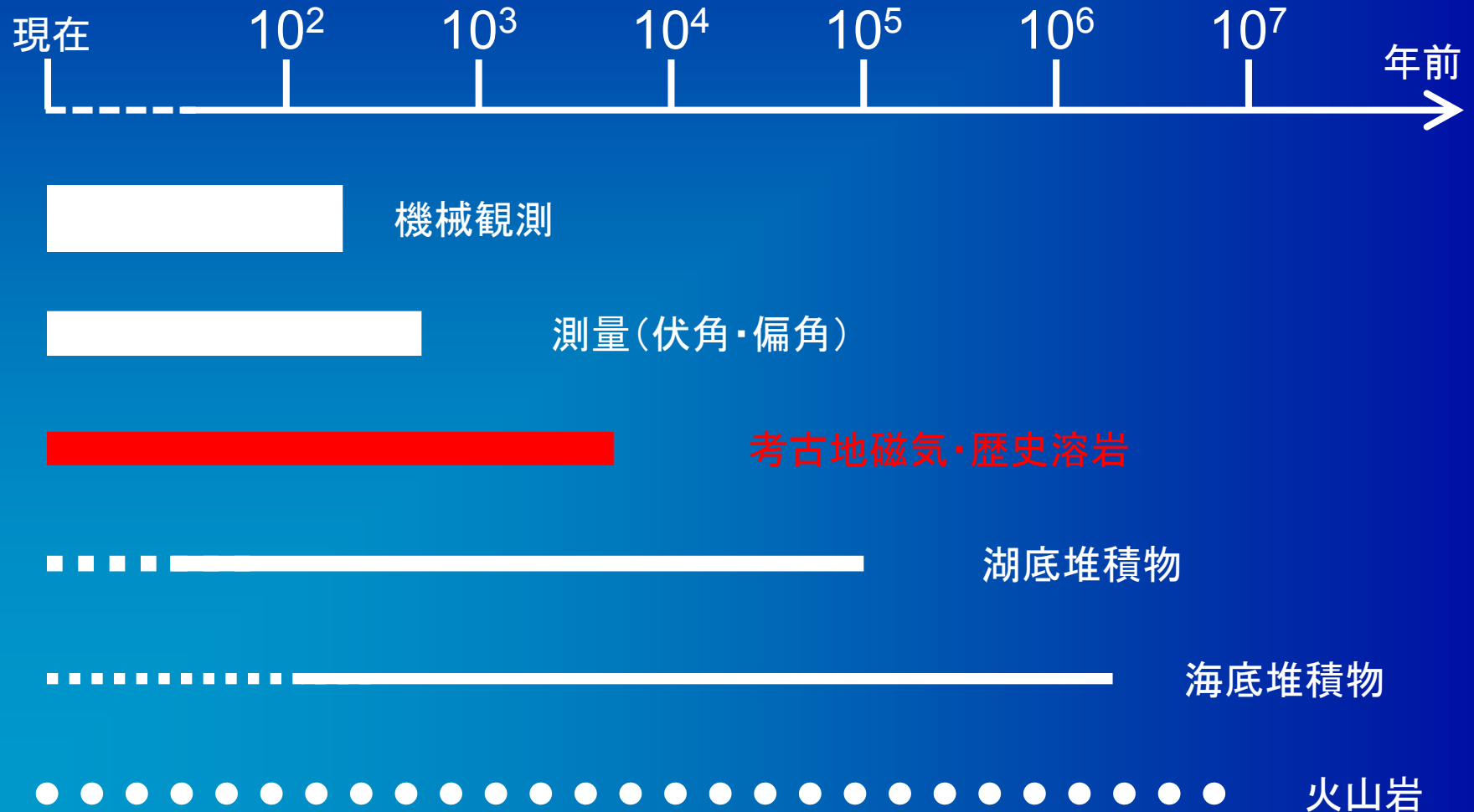


インバージョンによる解析

→ グローバルな「地球磁場の時間変化モデル」



地磁気永年変化を記録するモノ





考古地磁気学 (Archeomagnetism)

考古遺物に対する古地磁気学的測定



基本的にもものすごく素性の良い熱残留磁化

火山岩・堆積物と比べて、とても

残留磁化が安定
方位の精度が良い
強度の精度が良い
年代精度が良い
時間密度が高い



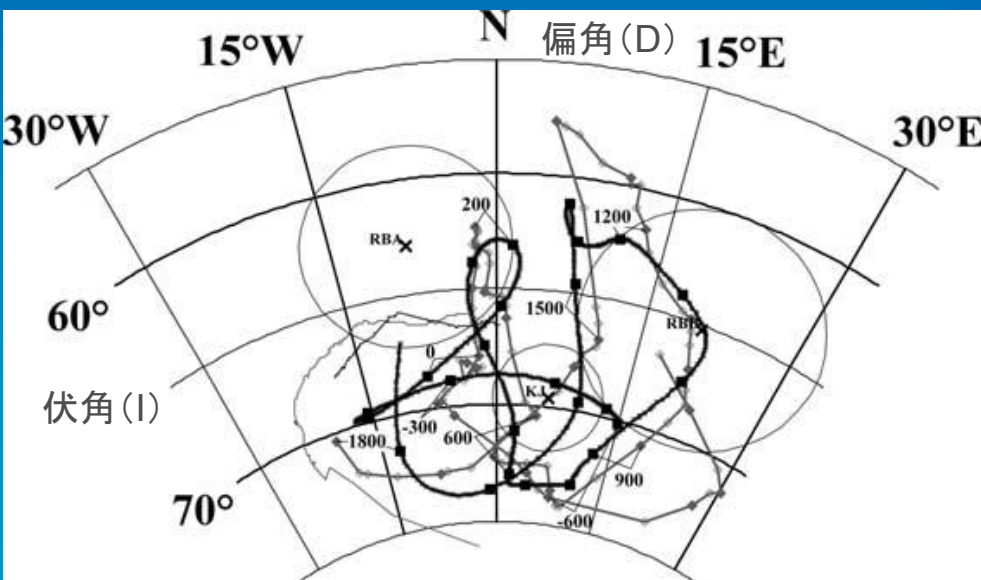
考古地磁気の難点

- サイトの空間的・時間的分布
- 「考古学~~試料~~資料(文化財)」
- 年代の決定法が**難しい**



海外の考古地磁気研究 と「AARCH計画」

- Aitken (1958), Aitken & Weaver (1966) ~
- Database: Daly & Le Goff (1996)
- AARCH計画(2002~2006)



Schnepf & Lanos (2005)

Welcome to
The European research training network
Archaeomagnetic Applications for the Rescue of Cultural Heritage
(AARCH)

AARCH is a Research Training Network funded by the [European Commission](#) within the [5th framework programme](#) and co-ordinated by [Dr. Cathy Batt](#) in the [Department of Archaeological Sciences, University of Bradford](#), UK. The project started in September 2002 and will run for 4 years. The network comprises 12 laboratories across Europe including the UK, Austria, Belgium, Bulgaria, Denmark, France, Greece, Spain and Italy. The funding is worth 1,484,946 € (£920,370) and will mainly be used in the appointment and training of young researchers.

For further information email the AARCH co-ordinators on aarch@bradford.ac.uk

Work supported by the European Community's Improving Human Potential Programme under contract No. HPRN-CT-2002-00219, AARCH



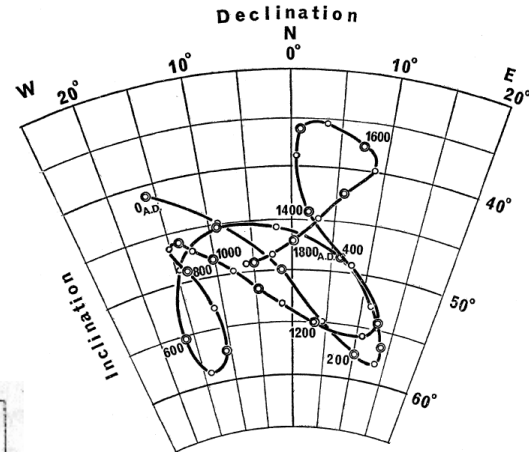
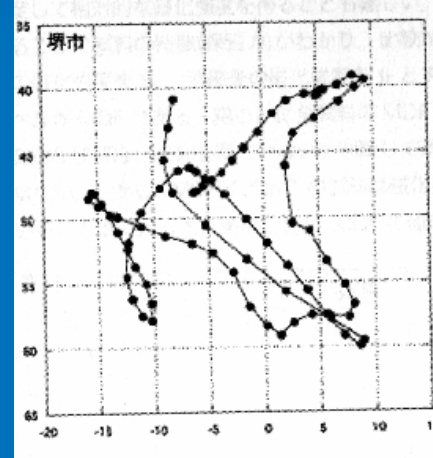
日本の考古地磁気学

- Watanabe (1959)
- Momose et al. (1964)
- Kawai et al., (1965)
- Nagata (1943), Kato & Nagata (1953), Yukutake et al. (1964)

データの集約

- Hirooka (1971)
- 広岡(1977), Hirooka(1983)
- Shibuya (1980)
- Sakai & Hirooka (1986)
- Tanaka (1990), Yoshihara et al., (2003)

(※ 赤字は歴史溶岩に対する研究)



前日本の考古遺跡焼土の測定から求められた過去 2000 年間の地磁気永年変化

- ↑ 広岡 (1977, 1983)
- ← Shibuya (1980)
- ↓ Tanaka (1990)

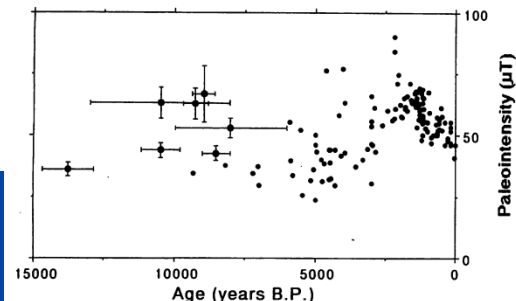


Fig. 7. Paleointensities in Japan during the last 15000 years. Seven data points before 8000 years B.P., six new ones in this study and one by Kono [1971] which was newly dated, are shown by circles with error bars. All other paleointensities are shown by circles without error bars. It is clearly seen that the paleointensity was large at around 9000 years B.P., and since then decreased to join the minimum around 5000-7000 years B.P.



考古地磁気の対象(日本)

■ 焼き物とそれを焼いた窯跡

区分	種類	道具	焼成	材料	温度
土器	縄文土器・弥生土器・土師器・かわらけ・瓦器	野焼	酸化焰	粘土	~800°C
陶質土器	須恵器	窯	還元焰	粘土	~1100°C
陶器 (炆器)	瀬戸・美濃・丹波・知多・常滑・信楽備前	窯	還元焰	粘土	~1200°C
磁器	有田(伊万里)・柿右衛門・唐津・清水	窯	還元焰	陶石	1250°C<



ヤバい。何とかせねば・・・

- AARCHすげえ。
- 日本の考古地磁気学データ
= Hirooka (1983), Sakai & Hirooka (1986)
- 「日本で考古地磁気やってるの？」
- たくさんやっている、けど、日本語の報告書。
- 東アジアから
韓国 Yu et al. (2010)
中国 Wei et al. (1981,...), Shaw et al. (1999)など
ほかにカンボジアなどであり



チーム「Recollection of Kawai Lab」

- 鳥居雅之先生（岡山理科大学） ← 隊長
- 広岡公夫先生（大阪大谷大学, 元富山大学）
- 中村浩先生（大阪大谷大学, 考古学）
- 渋谷秀敏先生（熊本大学） ← 次期隊長
- 吉原新先生（元富山大学, 現作家）
- 横山由紀子先生（元岡山理科大学, 現社長）
- 山本裕二先生（高知大学, The Paleointensity Guy）
- 畠山唯達（岡山理科大学, ぐーたら）

協力： 夏原信義さん（元大阪大、夏原技研）



計画

1. 陶邑(すえむら)考古地磁気試料の再測定
(未消磁の試料が現存)
2. 日本の考古地磁気データベースの作成と公表
(既存のデータ・報告書から)
3. 日本における標準地磁気永年変化曲線の作成
(2.のDBを利用して)

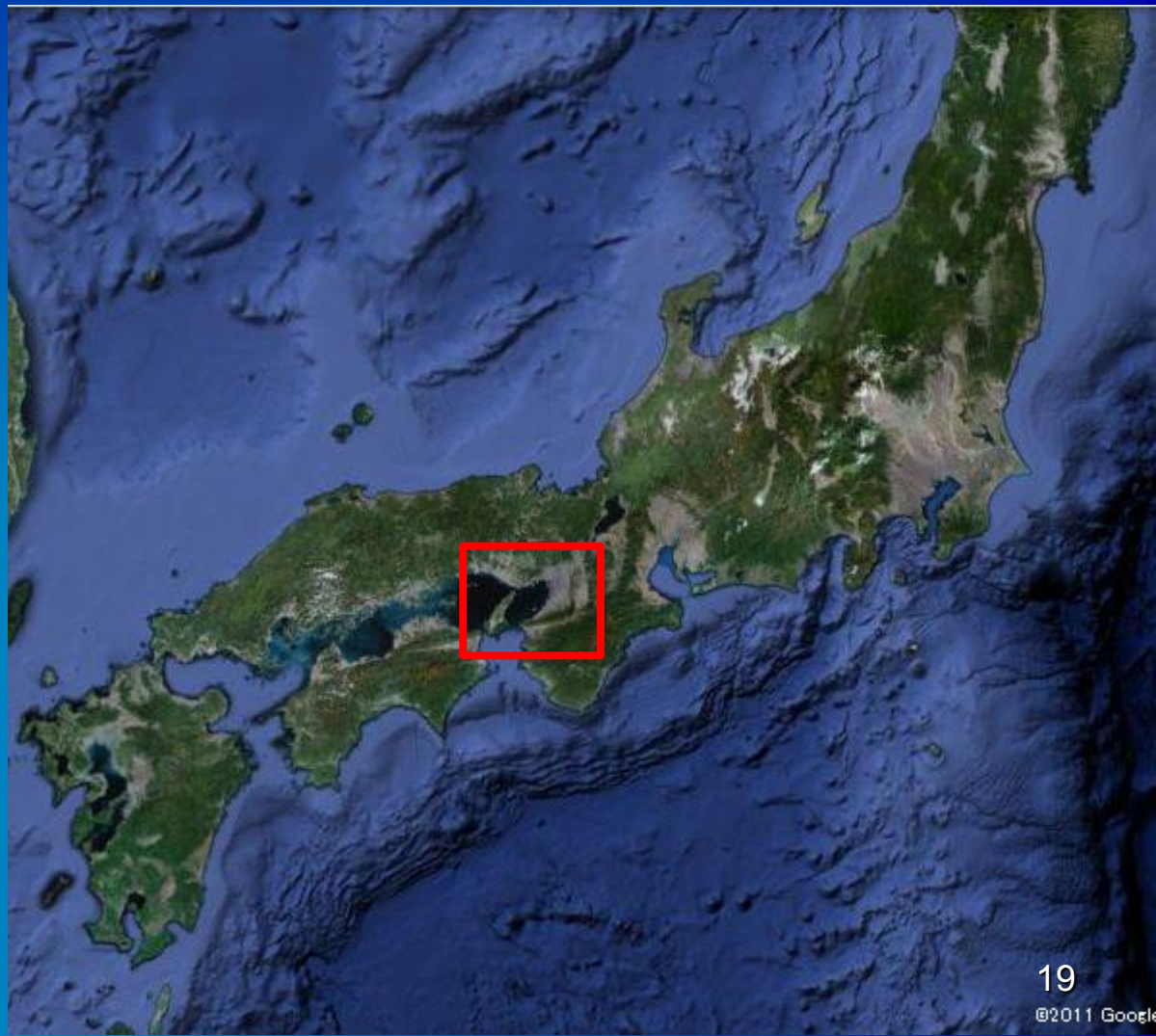


陶邑(大阪府堺市)

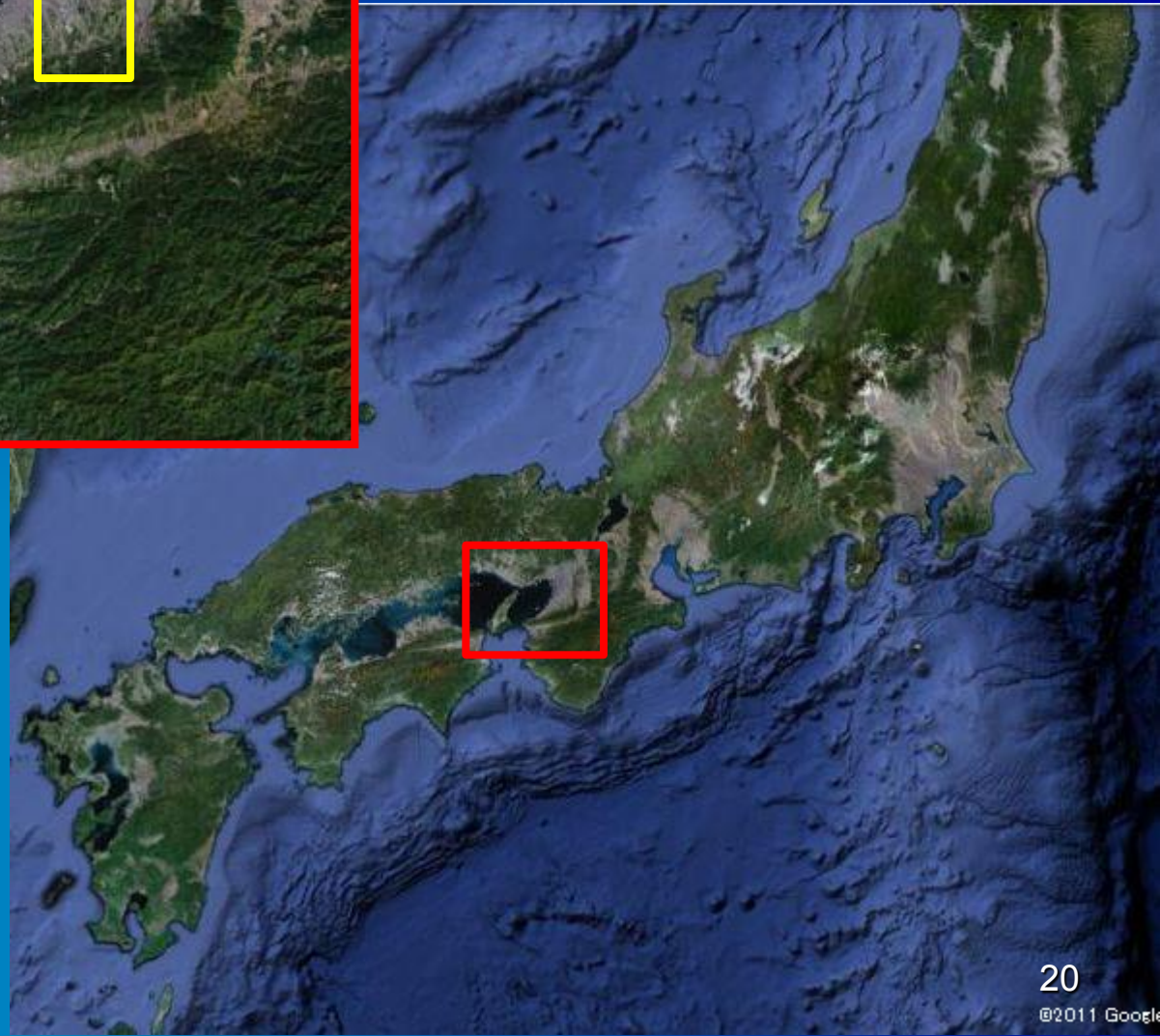
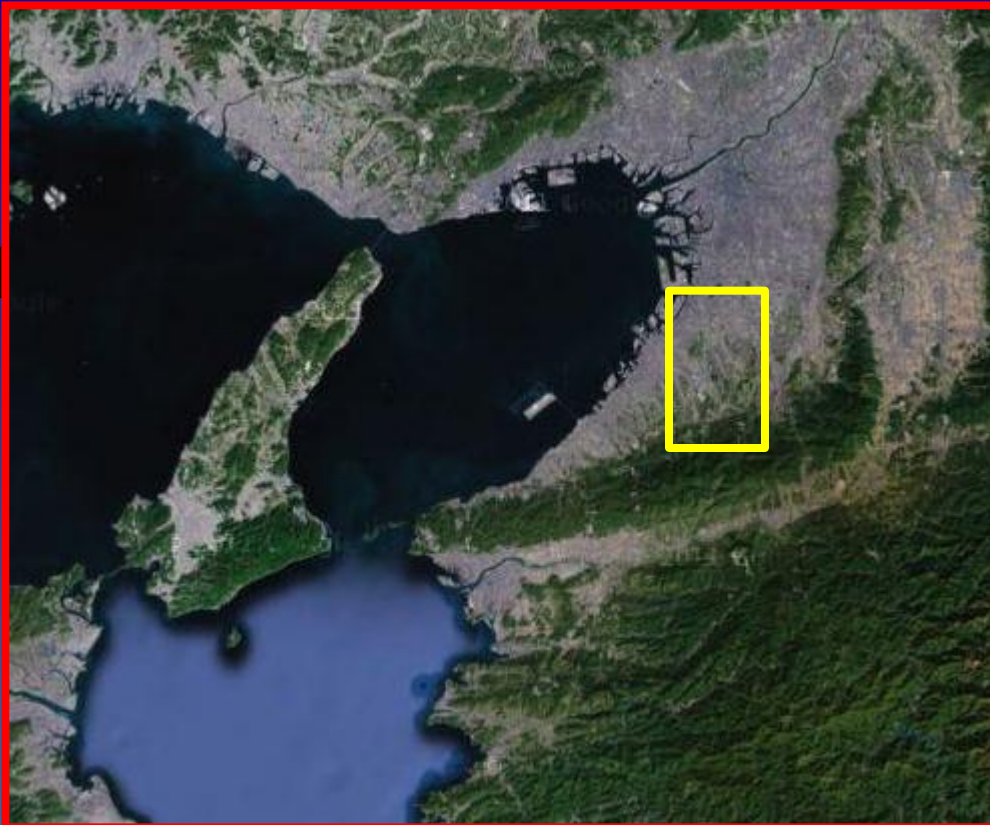
- 泉北丘陵、ニュータウンの造成で大規模出土
- 古墳時代後期～平安時代中期(5～10C)
- 須恵器の作成のための工房・集落・古墳など
- 窯跡が500基以上
- 調査・発掘は大阪府教育委員会(1961～)
- 考古地磁気は大阪大学川井研グループ(196?～, 約4000試料)



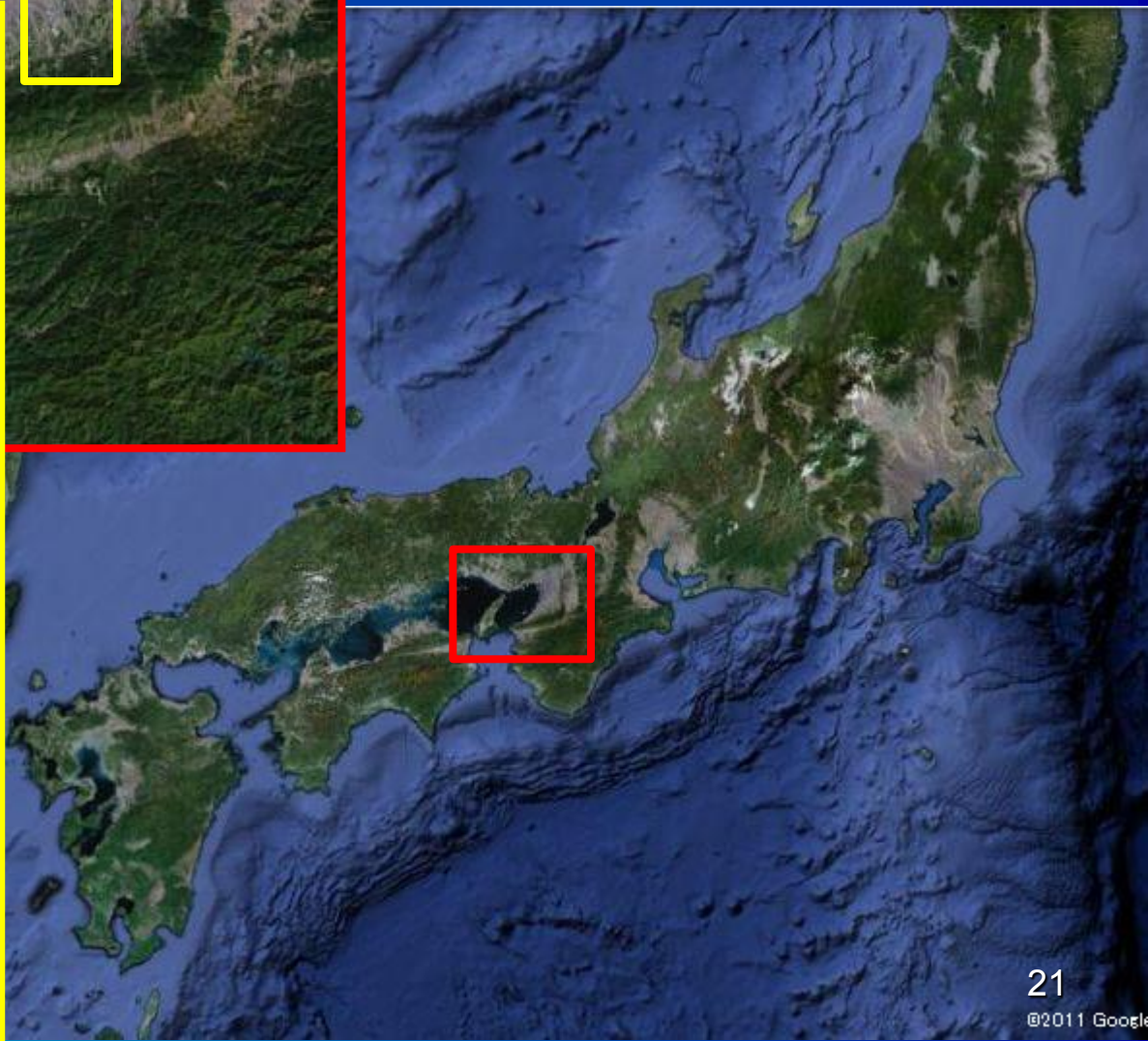
陶邑地域

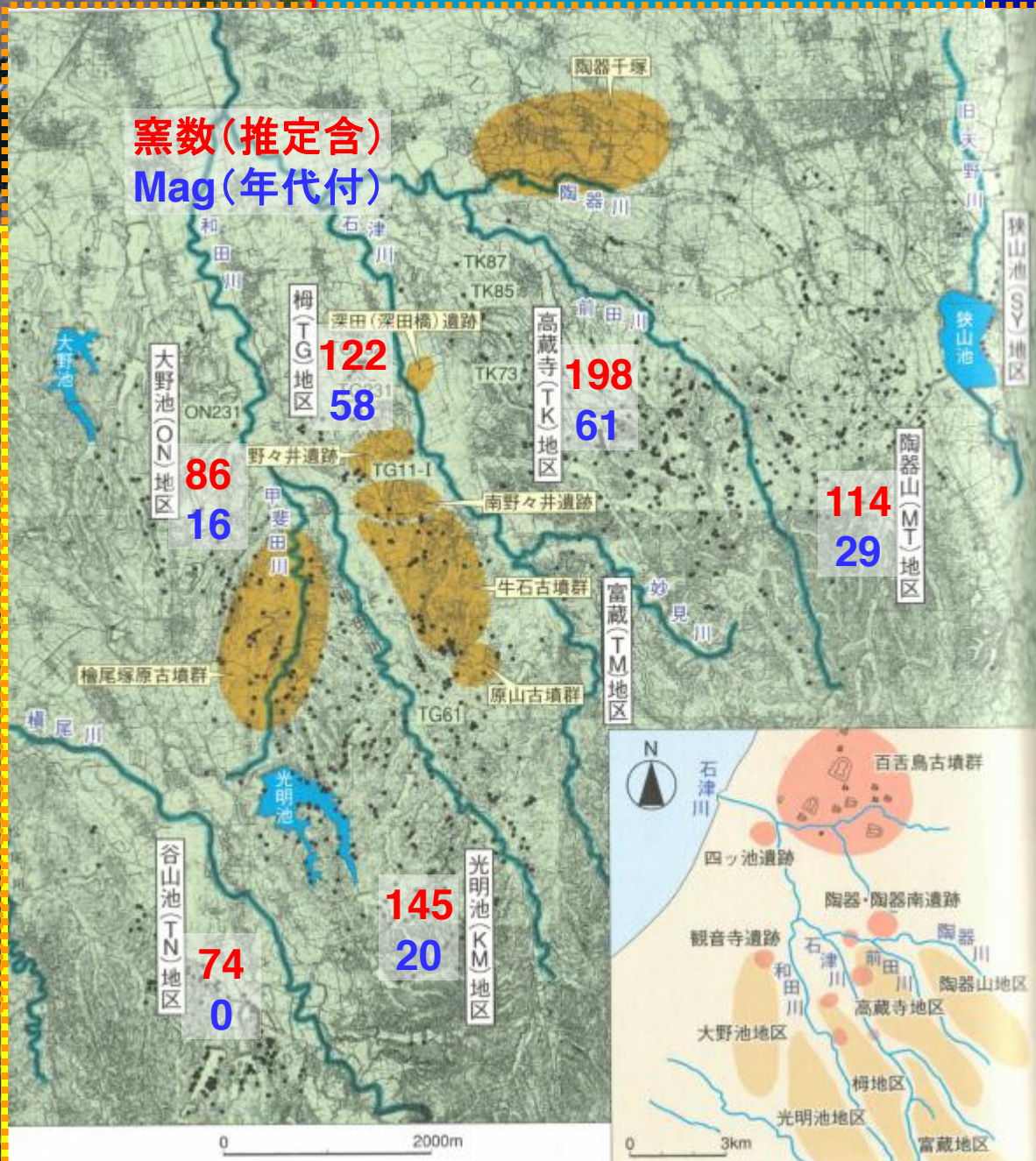


邑地域



邑地域







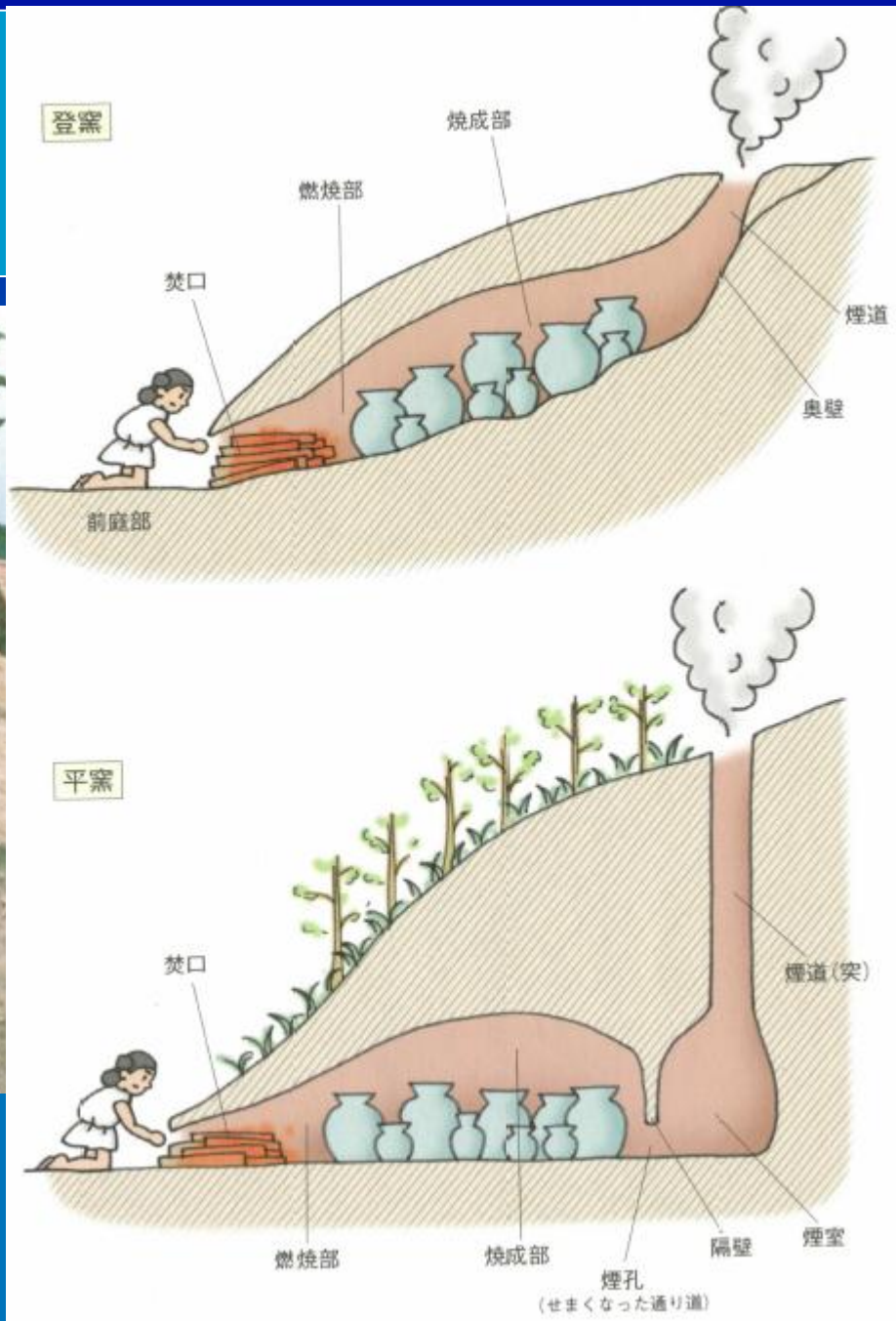
窯跡(登窯)



中村(2006)



中村(2006)

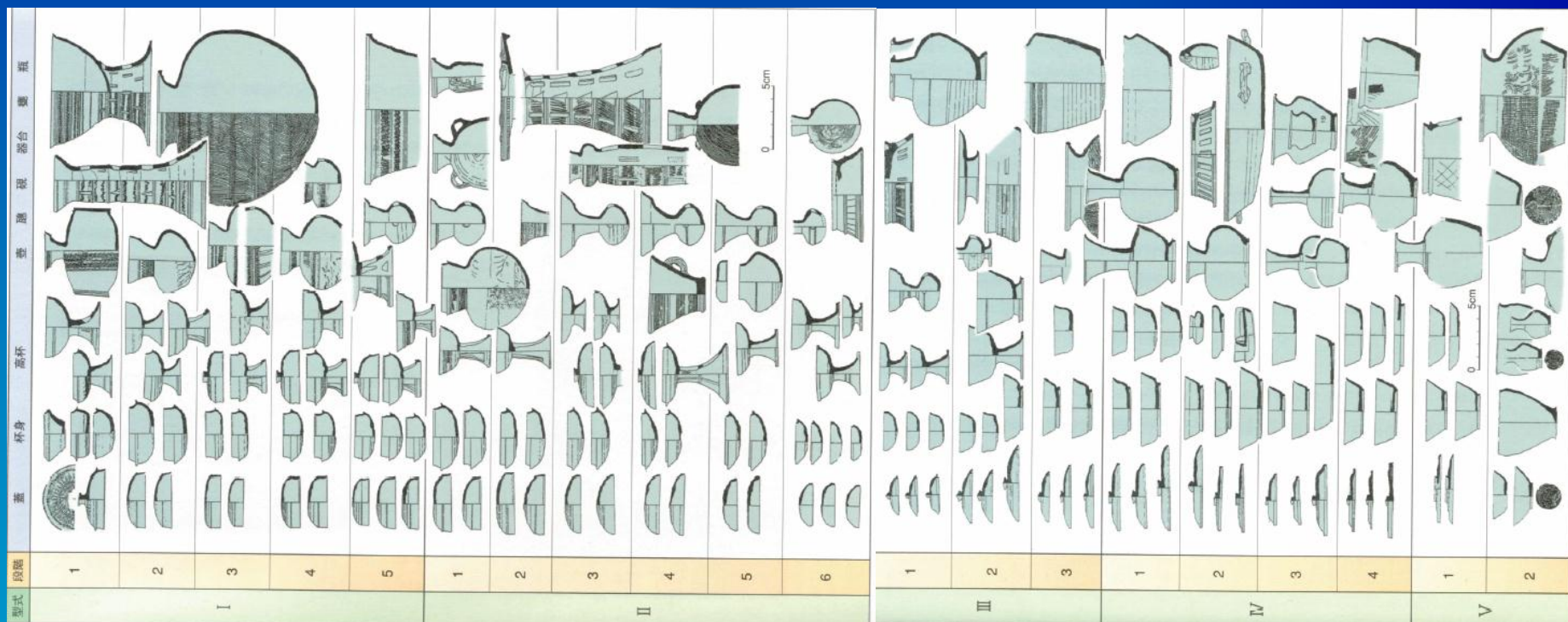




須恵器の形式編年

焼き物には流行がある → 陶邑の須恵器では5形式20段階に分類

中村(2006)



4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7	7	7	8	9
3	5	7	9	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9	2	5	7	9	2	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5

中心年代(AD)



計画

1. 陶邑(すえむら)考古地磁気試料の再測定
2. 日本の考古地磁気データベースの作成と公表
(既存のデータ・報告書から)
3. 日本における標準地磁気永年変化曲線の作成
(2.のDBを利用して)



日本のデータを世界に

日本には、たくさんの考古地磁気データがある

- 「発掘報告書」が発表業績
- データ数が不明(数千サイト?)
日本に「考古地磁気学者」はどれだけいるのか?
- 年代の問題

→ できることをやろう

日本のデータのコンパイル



日本最大(?)のデータベース (広岡ら, 2006)

	サイト数	年代あり k>10
東北	51	3
関東	45	0
東海	871	143
北陸	766	115
近畿	388	352
中四国	38	20
九州	34	12
合計	2193	645

問題点

- 全国を網羅していない
- 年代推定が古い(かも)
- 「考古地磁気年代」がある

このままでは使えない！



利用したデータ (考古年代のあるもの)

- ① 陶邑発掘報告書 (1970, 1976, 1977, 1978, 1979)
陶邑のデータ $N_s = 184$
- ② 広岡, 藤澤 (2002) 東海地方 $N_s = \text{約}290$
- ③ 北九州の最近の発掘報告 (牛頸など) $N_s = \text{約}50$
- ④ Shibuya (1980=修論) $N_s = 390$
①のほぼ全部と、②の一部を含む



データベースの作成

重複を排除し、年代・遺跡位置のチェック
⇒ 新データベース

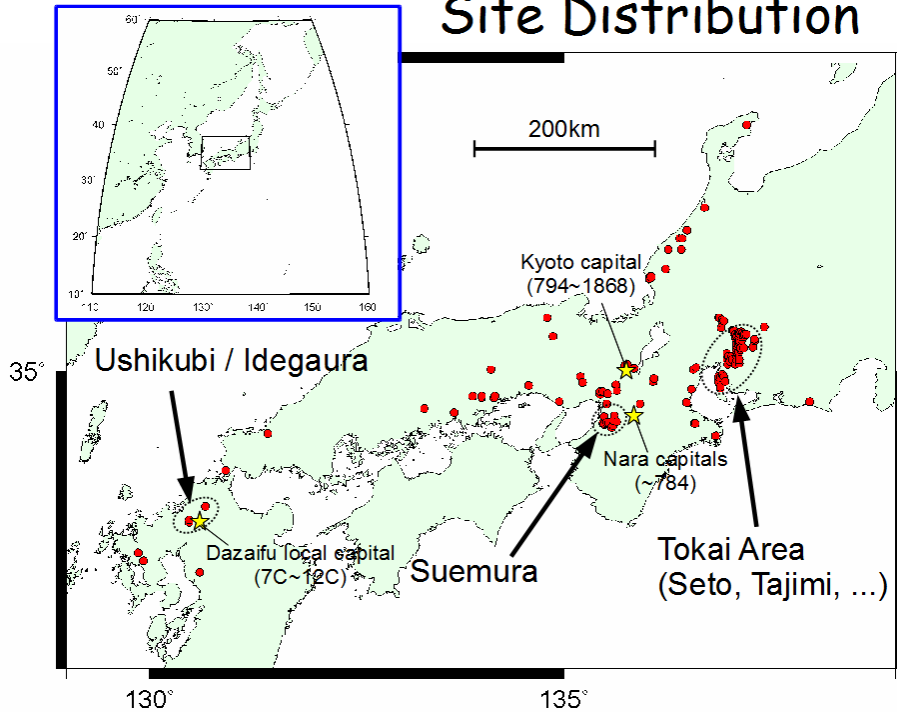
(仮) 日本考古地磁気データアーカイブ
(Japan ArcheoMagnetic Data Archive)

- 方位データのみ
- サイト数 $N_s=682$ (ver. pre1.0)
- サンプル/データ数 $N_d=9055$
- 時代範囲 AD~1870
- 年代は考古年代(主に土器編年 $\Delta T=20\sim 50\text{yr}$)
- 主に西~中部日本

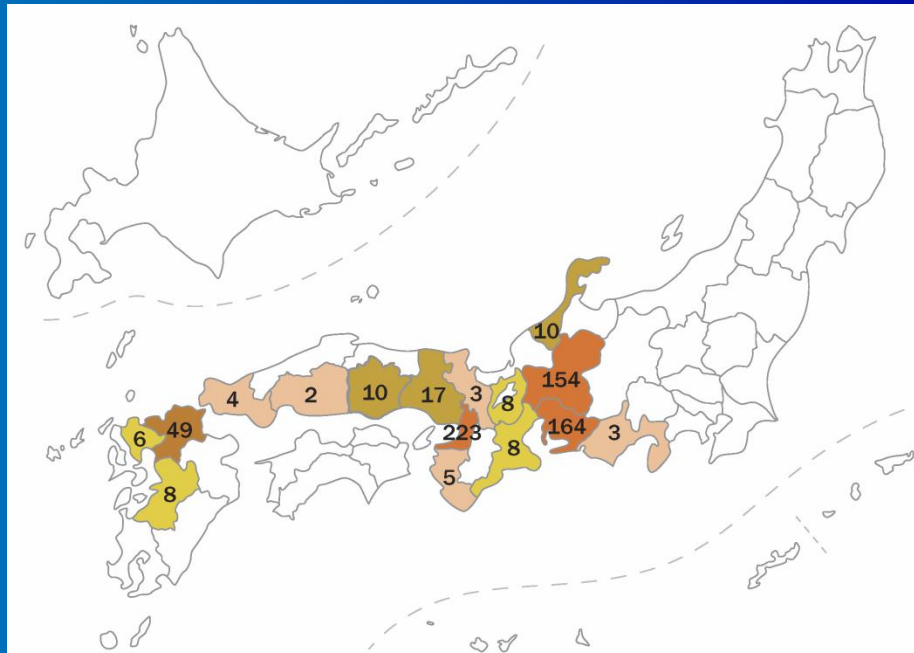


サイト分布(空間)

Site Distribution

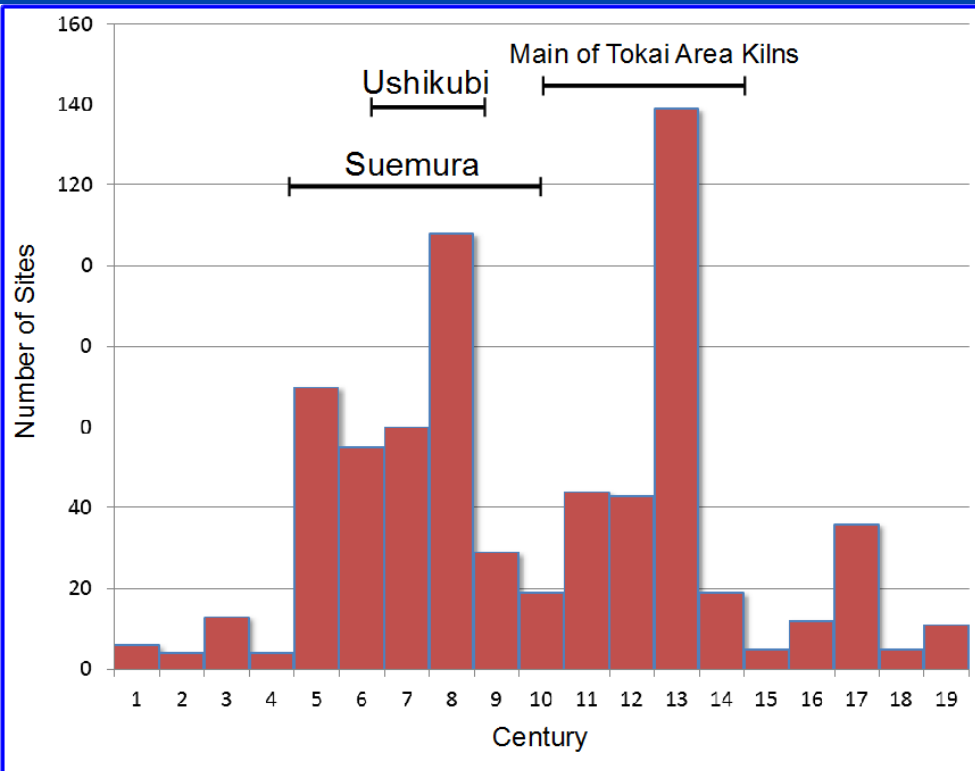


- ものすごく西日本に偏っている
- 窯跡の数
 - 西日本関係者のデータが主体
 - 東日本の編年がはっきりしてない





サイト分布(時間)

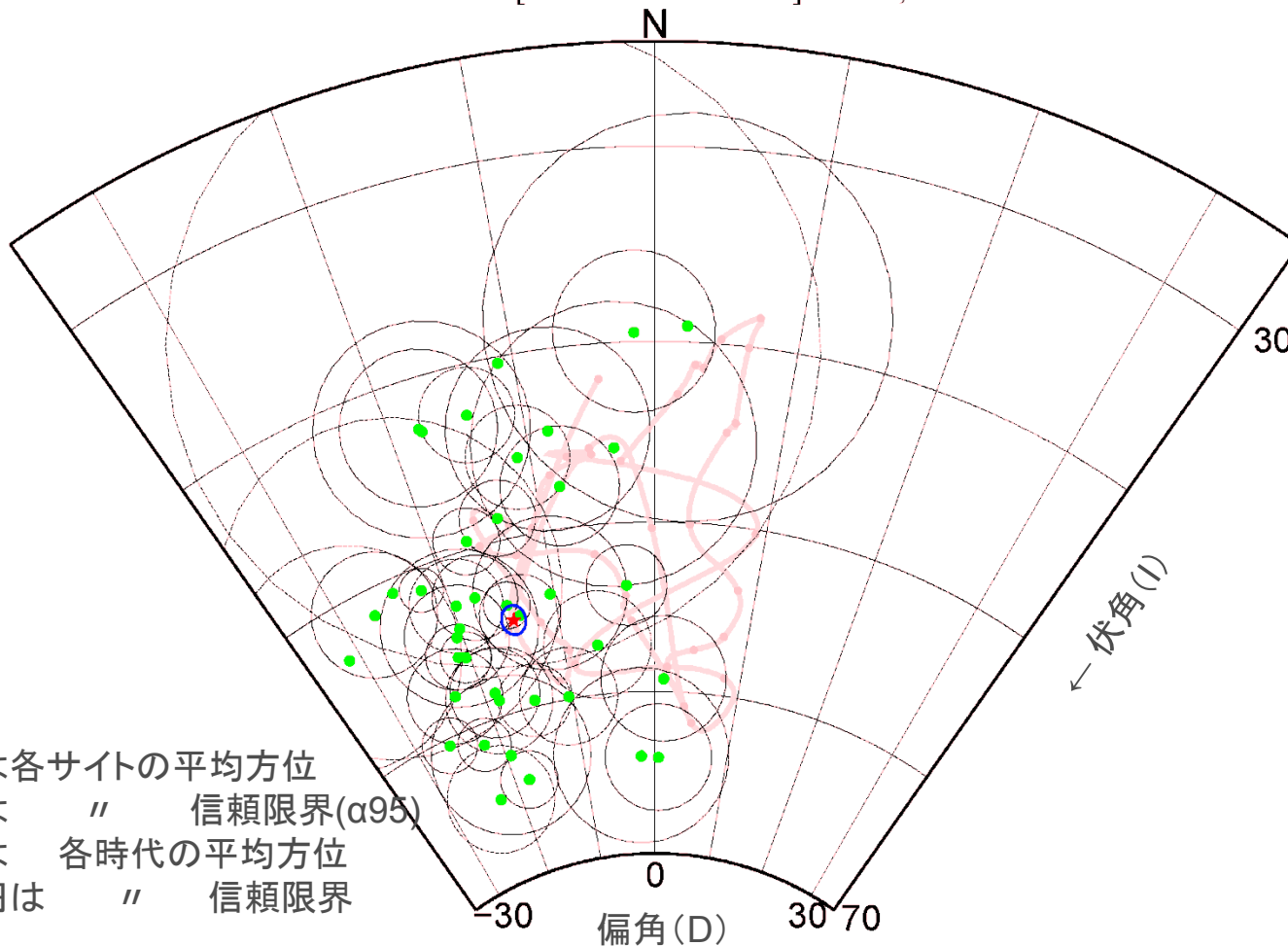


- 4世紀以前は少ない
須恵器以前、年代の問題
- 15世紀以降も少ない
土器製造法の成熟?
(廃窯が残りづらい)



データベース(50年ごと)

JAMADA 0.91 : [0575 - 0600 - 0624] Ns=40, Nd=546

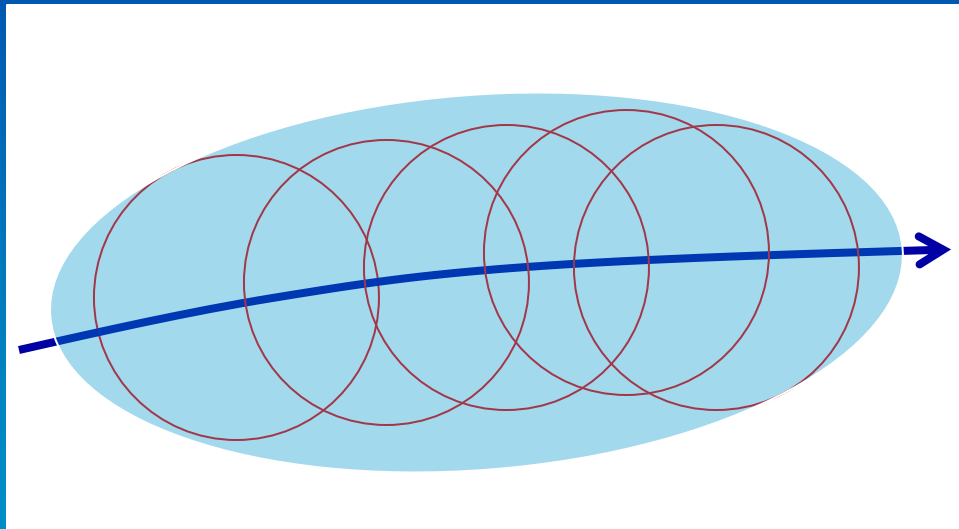


緑点は各サイトの平均方位
黒円は " 信頼限界(α_{95})
赤星は 各時代の平均方位
青楕円は " 信頼限界



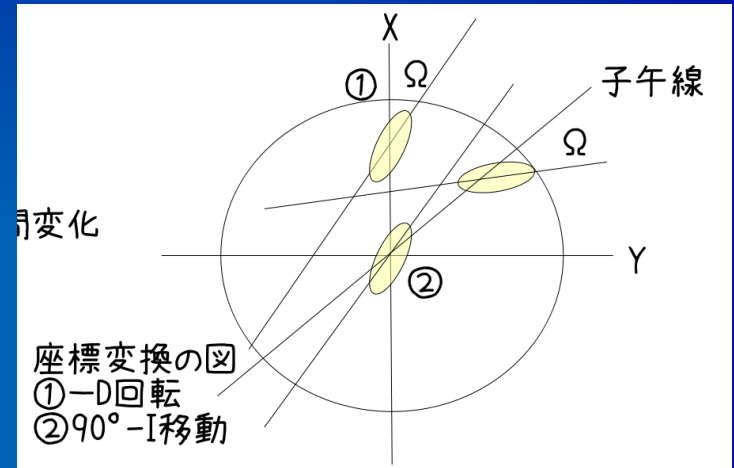
BiVariate Fisher 法 (Le Goff et al., 1992)

誤差円の集まりは時間軸
(永年変化)方向に伸びる



2軸性の統計

長軸の方位 : 変化方向
長軸 - 短軸 : 永年変化量



ちょっと修正して使う

サイト間のばらつきのみ

$$\begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i (z_i - \bar{z}) \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i (z_i - \bar{z}) \\ \sum x_i (z_i - \bar{z}) & \sum y_i (z_i - \bar{z}) & \sum (z_i - \bar{z})^2 \end{pmatrix}$$

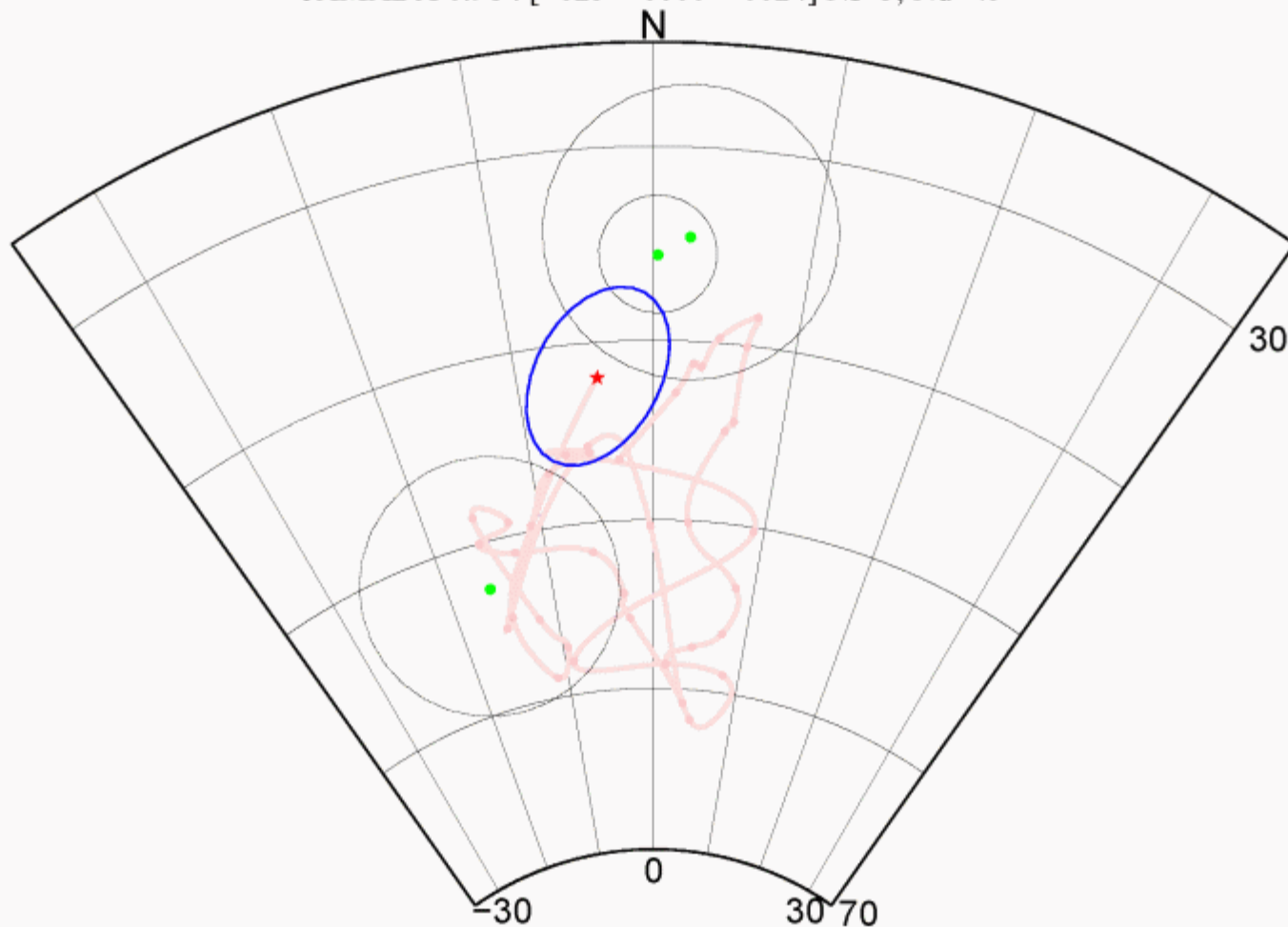
サイト内のサンプルを独立と考えると

$$\begin{pmatrix} \sum N_i \left(x_i^2 - \frac{1}{k_i} \right) & \sum N_i x_i y_i & \sum N_i x_i (z_i - \bar{z}) \\ \sum N_i x_i y_i & \sum N_i \left(y_i^2 - \frac{1}{k_i} \right) & \sum N_i y_i (z_i - \bar{z}) \\ \sum N_i x_i (z_i - \bar{z}) & \sum N_i y_i (z_i - \bar{z}) & \sum N_i \left((z_i - \bar{z})^2 - \frac{1}{k_i (1 - \bar{z}^2)} \right) \end{pmatrix}$$



データベース(50年ごと)

JAMADA 0.91 : [-025 - 0000 - 0024] Ns=3, Nd=45





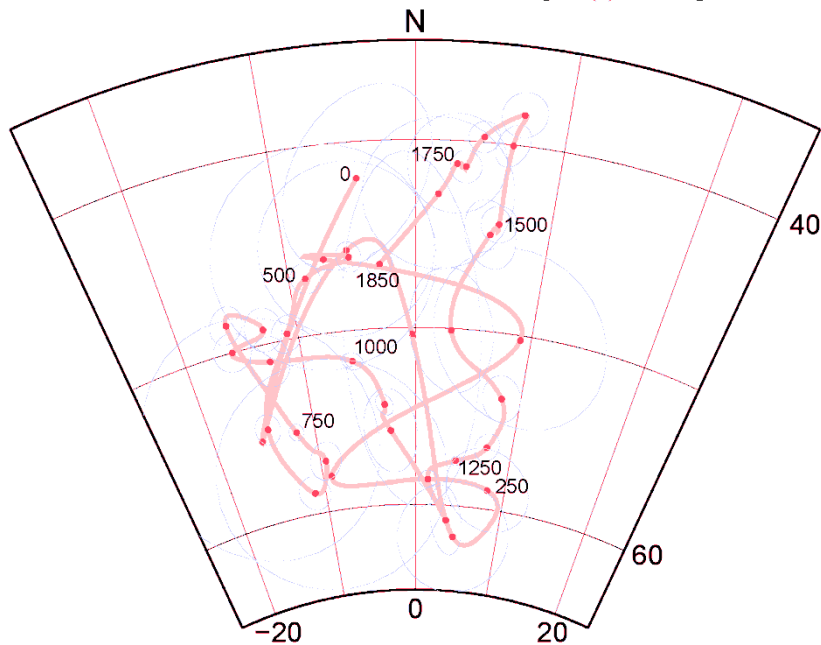
計画

1. 陶邑(すえむら)考古地磁気試料の再測定
2. 日本の考古地磁気データベースの作成と公表
(既存のデータ・報告書から)
3. 日本における標準地磁気永年変化曲線の作成
(2.のDBを利用して)



永年変化モデル

JAMADA 0.91 Secular Variation curve [AD(0) - 1850]

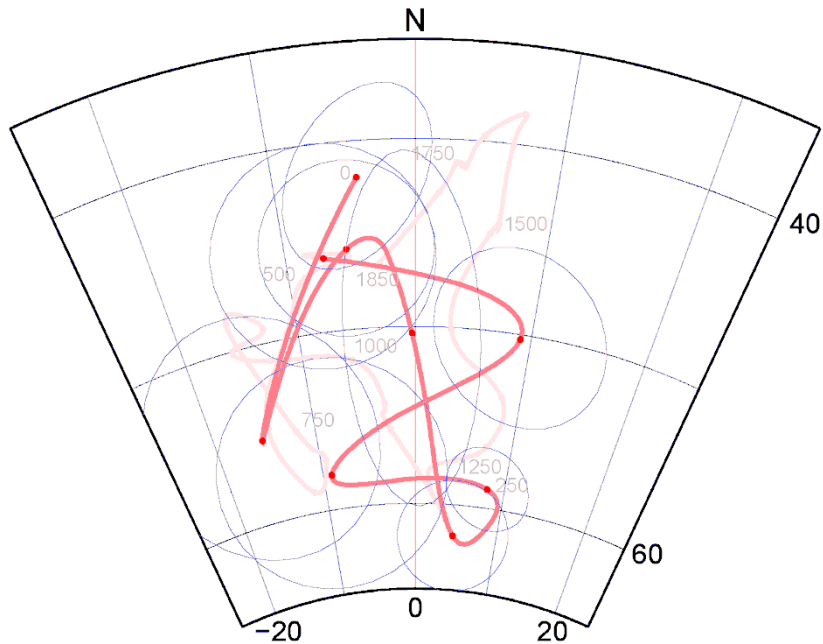


偏角(D)、伏角(I)についてパラメトリックスプライン補間(2次のBスプライン基底)



永年変化モデル(AD~400)

JAMADA 0.91 Secular Variation curve [0 - 400]

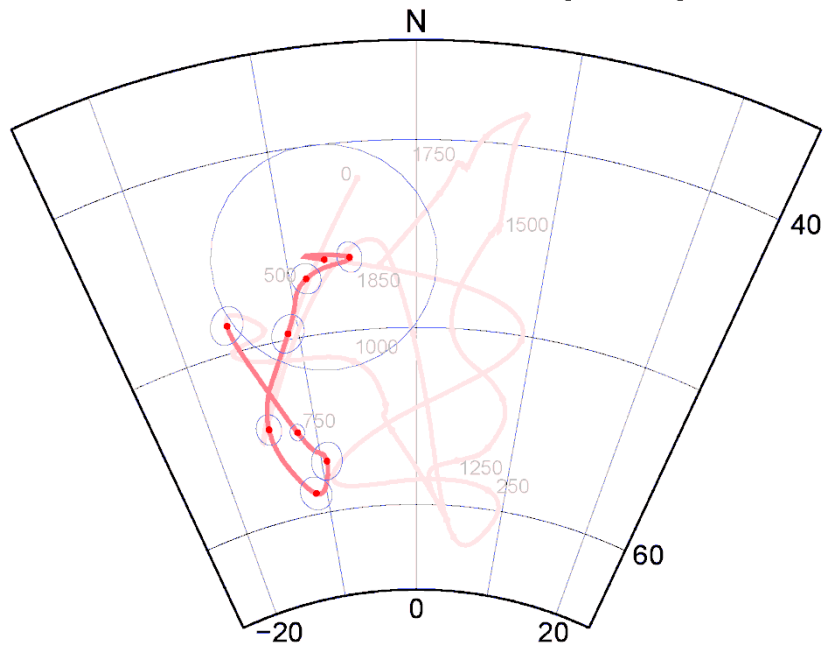


- ✓ データの数・精度が悪く信頼性に欠ける(とくにAD50)
- ✓ 伏角が一度深くなり、再び浅くなった(ようだ)



永年変化モデル(400~800)

JAMADA 0.91 Secular Variation curve [400 - 800]

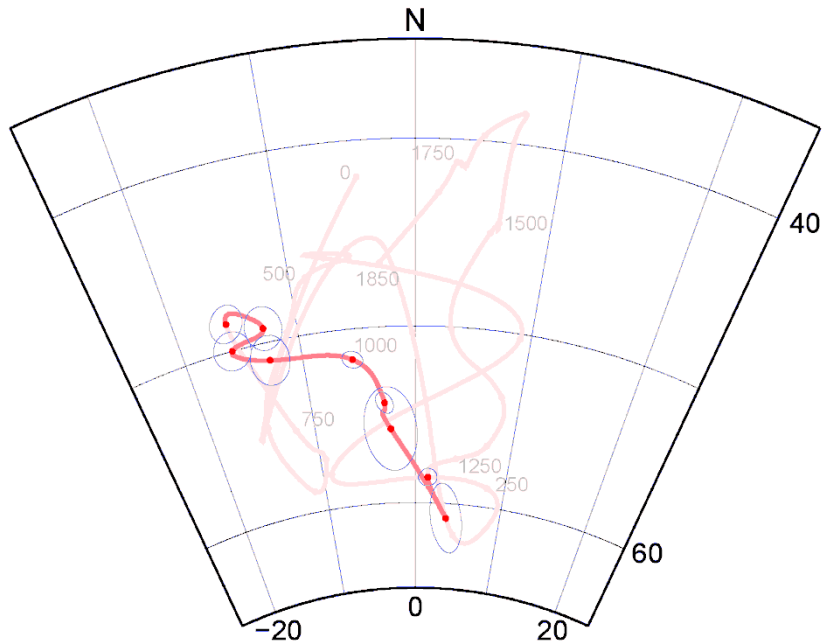


- ✓ 西側($D < 0$)にいる
- ✓ 600~750年で小さなループ



永年変化モデル(800~1200)

JAMADA 0.91 Secular Variation curve [800 - 1200]

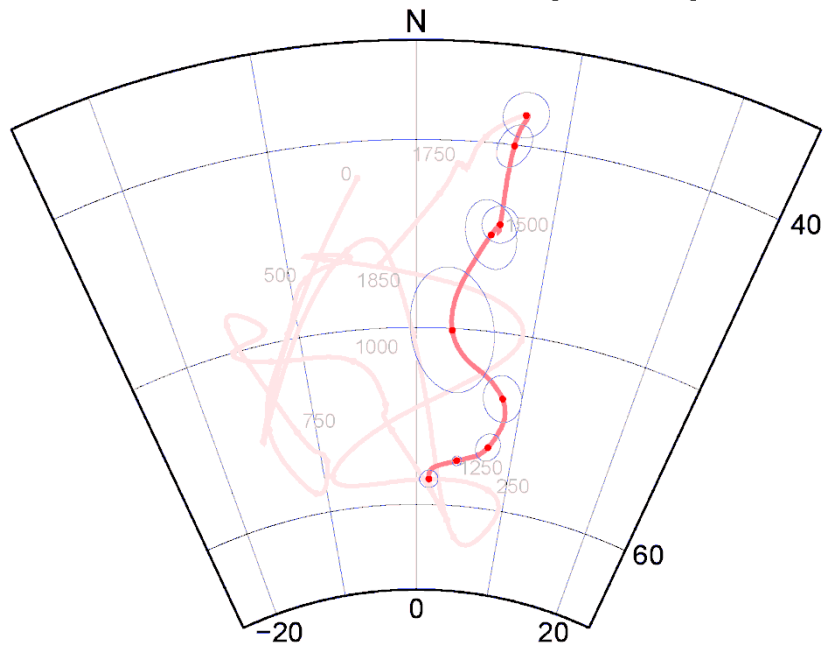


- ✓ 800~950年の間ほぼ停滞
- ✓ その後、D→東、I→深の方向へ



永年変化モデル(1200~1600)

JAMADA 0.91 Secular Variation curve [1200 - 1600]

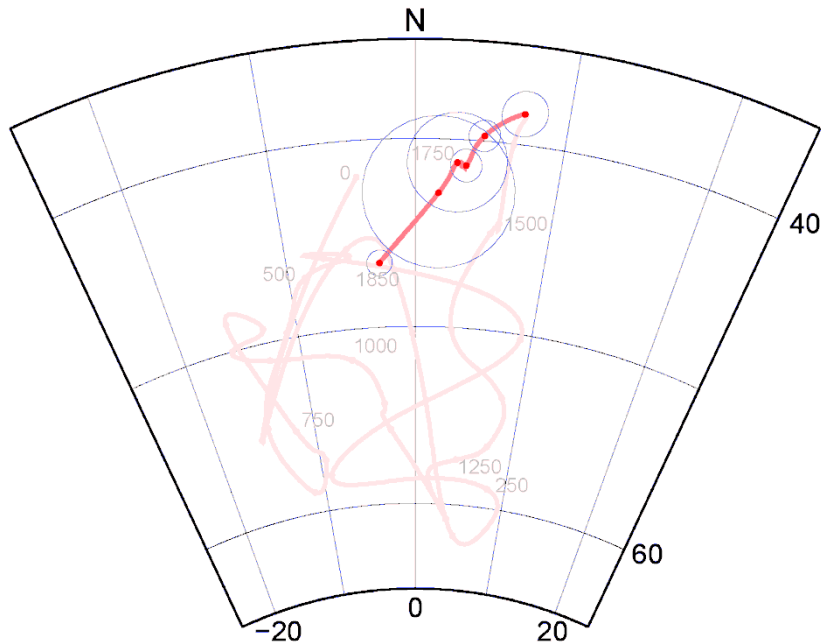


✓ 浅い方向へ



永年変化モデル(1600~1850)

JAMADA 0.91 Secular Variation curve [1600 - 1850]

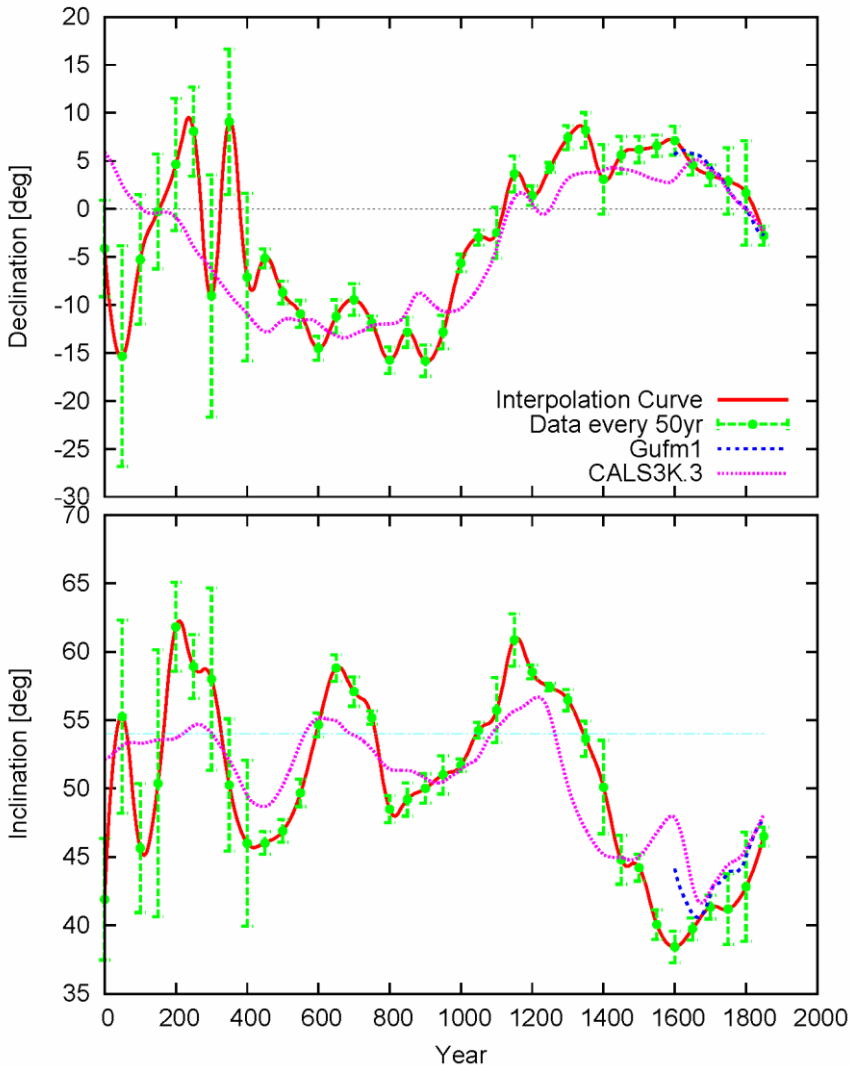


- ✓ 1600年ごろ急激に方向の変化を変える
→ geomagnetic jerk?
- ✓ 西方へ移動し、1800年近辺で $D=0$ の線を越える
(観測と一致)



データ・モデル間比較 (その1)

Secular Variation Curves in Japan



Gufm1 (青点線)

- Jackson (2000)によるモデル
- 1590~1990をカバー
- データは測定値(主に航海士による)
→ 我々のデータベースと独立

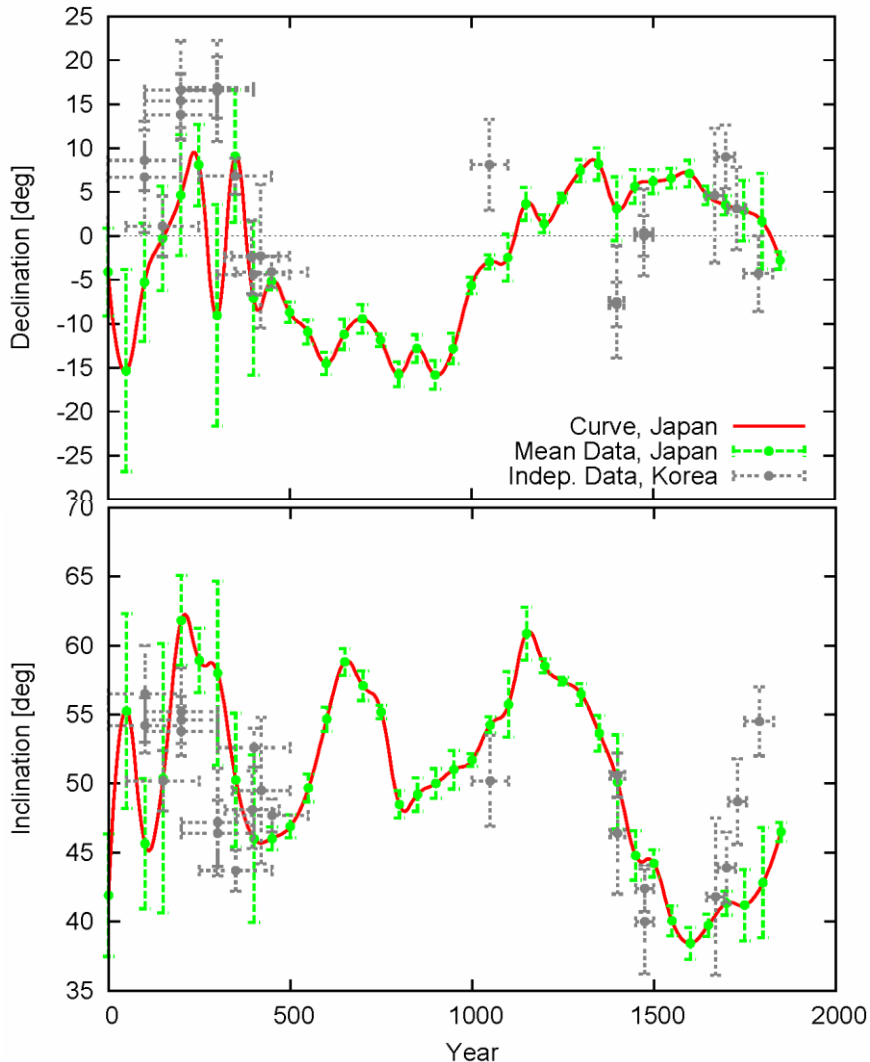
CALS3K.3 (ピンクの線)

- Korte et al. (2009)によるモデル
- BC1000~AD2000をカバー
- 堆積物・溶岩の古地磁気、考古地磁気
日本のデータは Hirooka (1983)



データ・モデル間比較 (その2)

Secular Variation in East Asia



- 韓国のデータは Yu et al. (2000)
- それぞれ独立なサイトのデータ
(年代の平均ではない)
- 紀元以降で $N_s=22$ (全体で $N_s=26$)
- 1600年前後の急激な変化？



まとめ

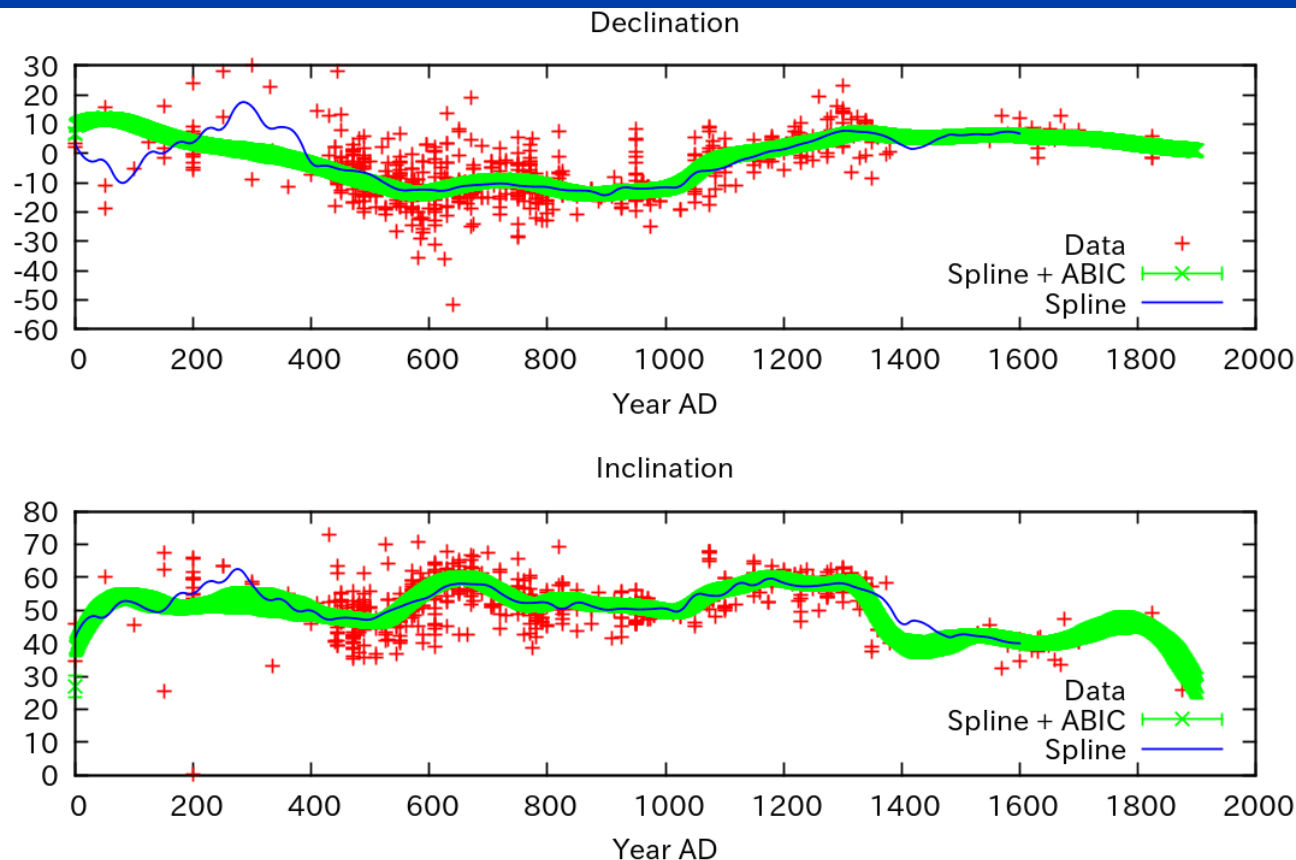
- 日本の考古地磁気方位データをまとめ、データベースを作成した。
- データ範囲は1~19世紀だが、とくに5世紀以降はデータ数が多く信頼性が高そう。
- 日本における永年変化モデルを作成し、いくつかの地磁気方位の「転換点」を明らかにした。

Future works

- データの「発掘」(山陰, 畿内, 東日本, etc.)
- 考古学年代の「発掘」(年代のない方位データが1400以上)
- 強度データの「発掘」とコンパイル
- より良い永年変化モデル(ローカル/グローバル)を作る
- 永年変化曲線を用いた年代推定



新モデル・可視化



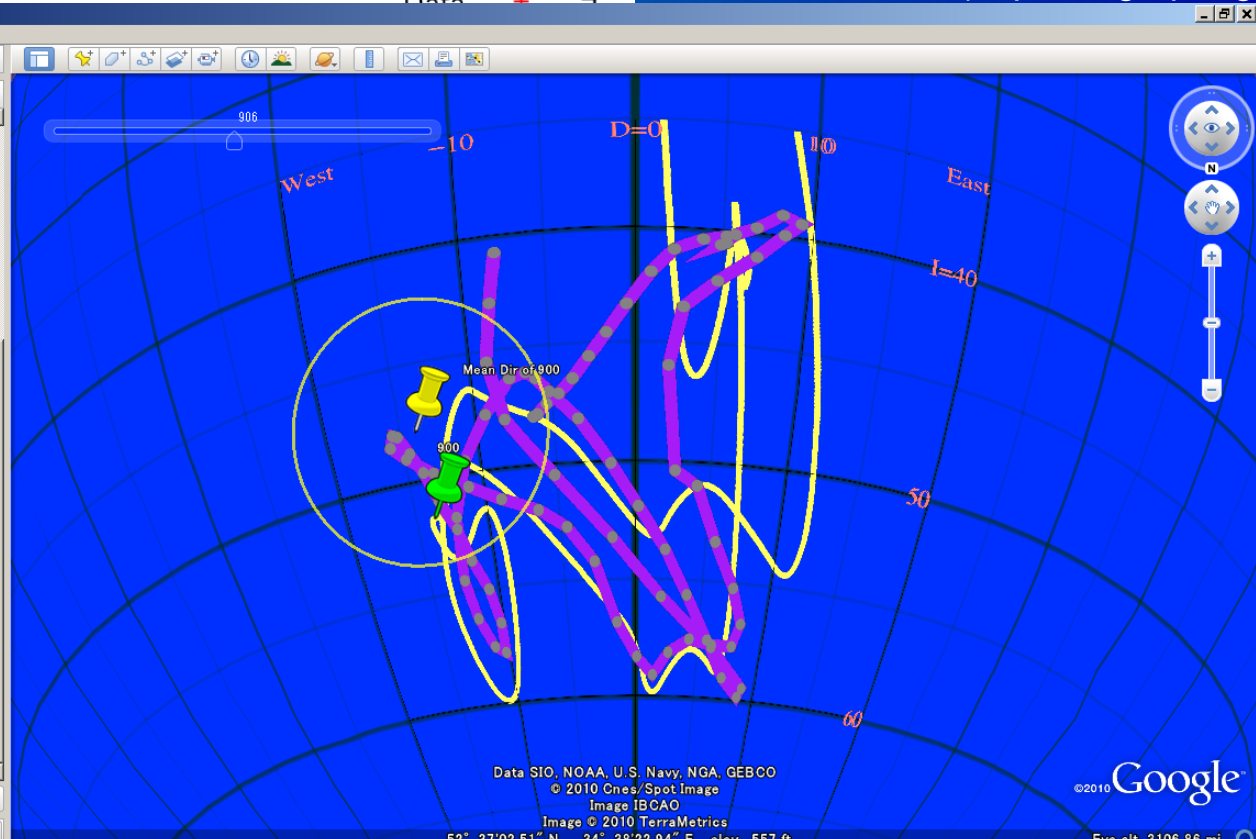
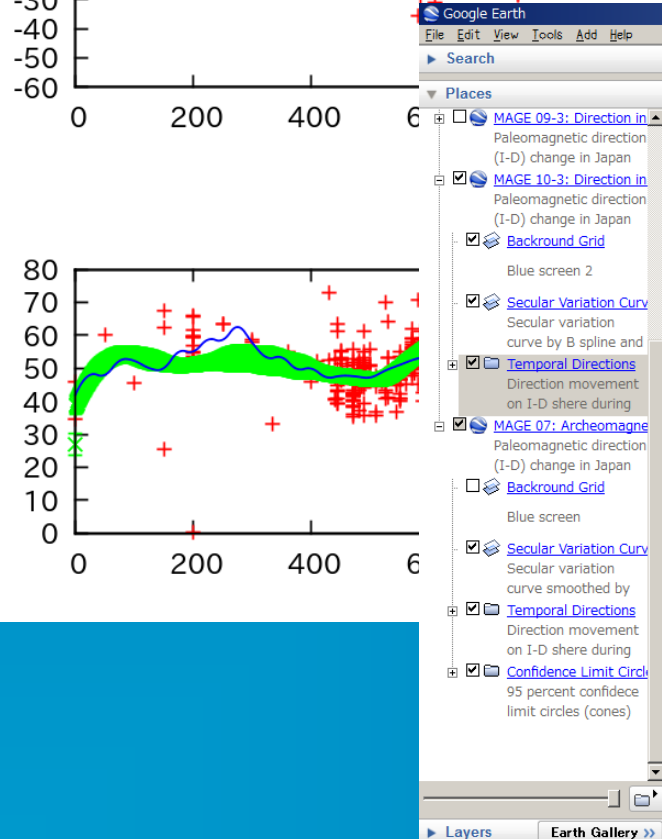
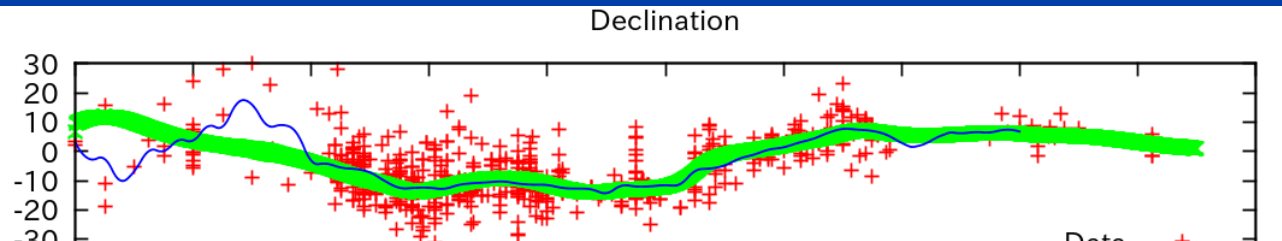
Spline + Smoothing + ABIC
畠山, 山本 (SGEPSS, 2010)



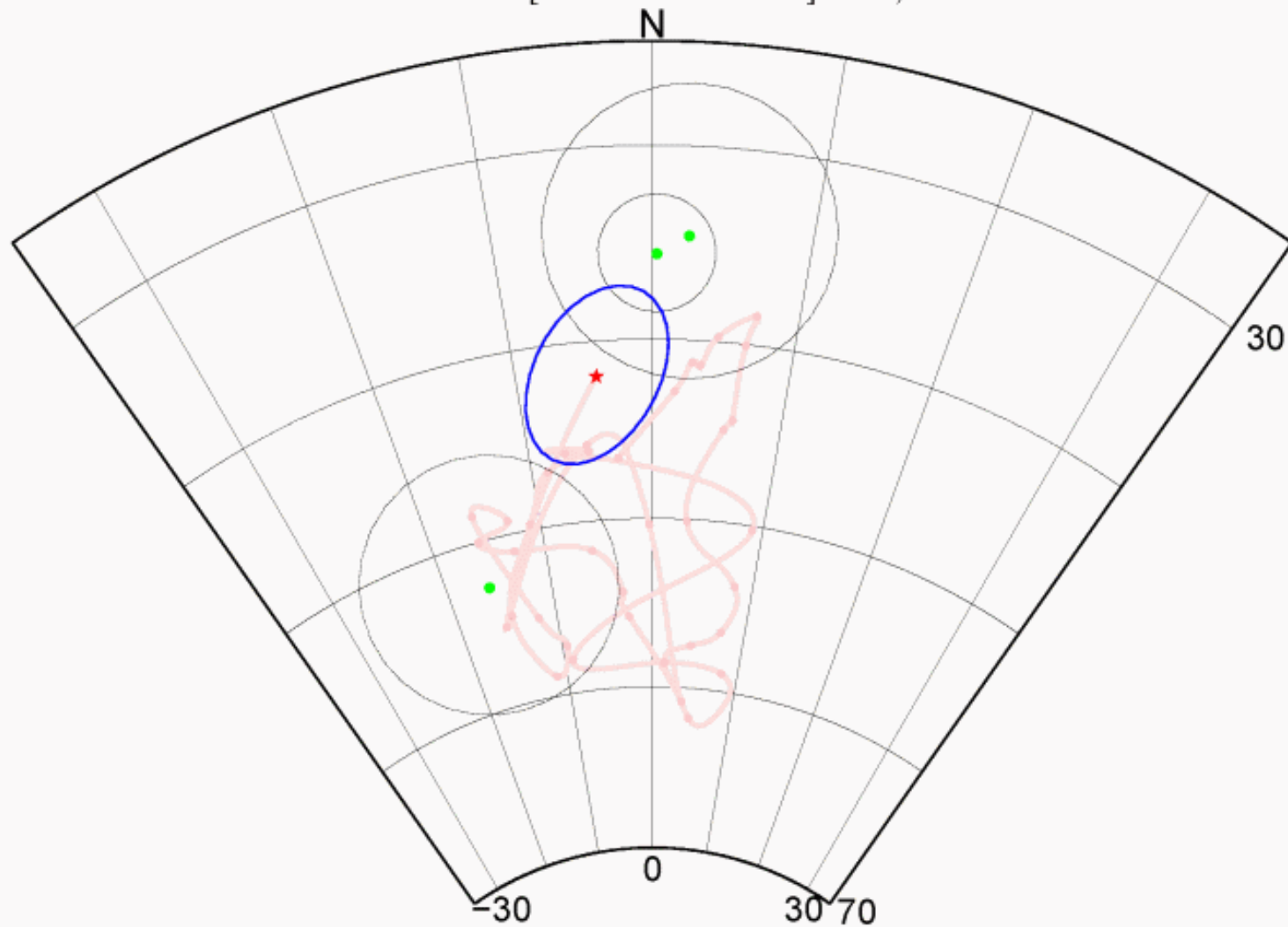
新モデル・可視化

Spline + Smoothing + ABIC
畠山, 山本 (SGEPSS, 2010)

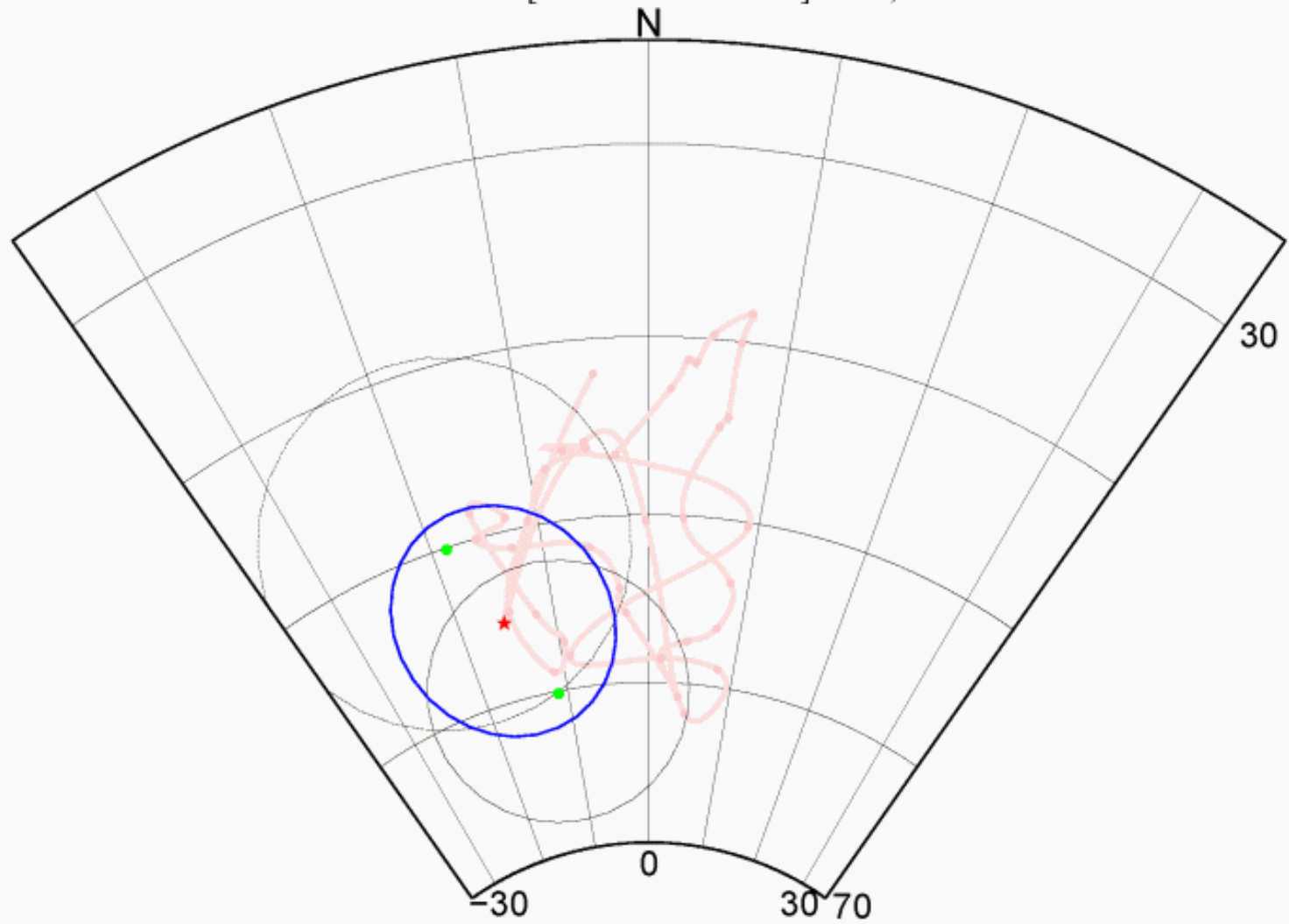
Google Earth を用いた可視化
(<http://mage-p.org>)



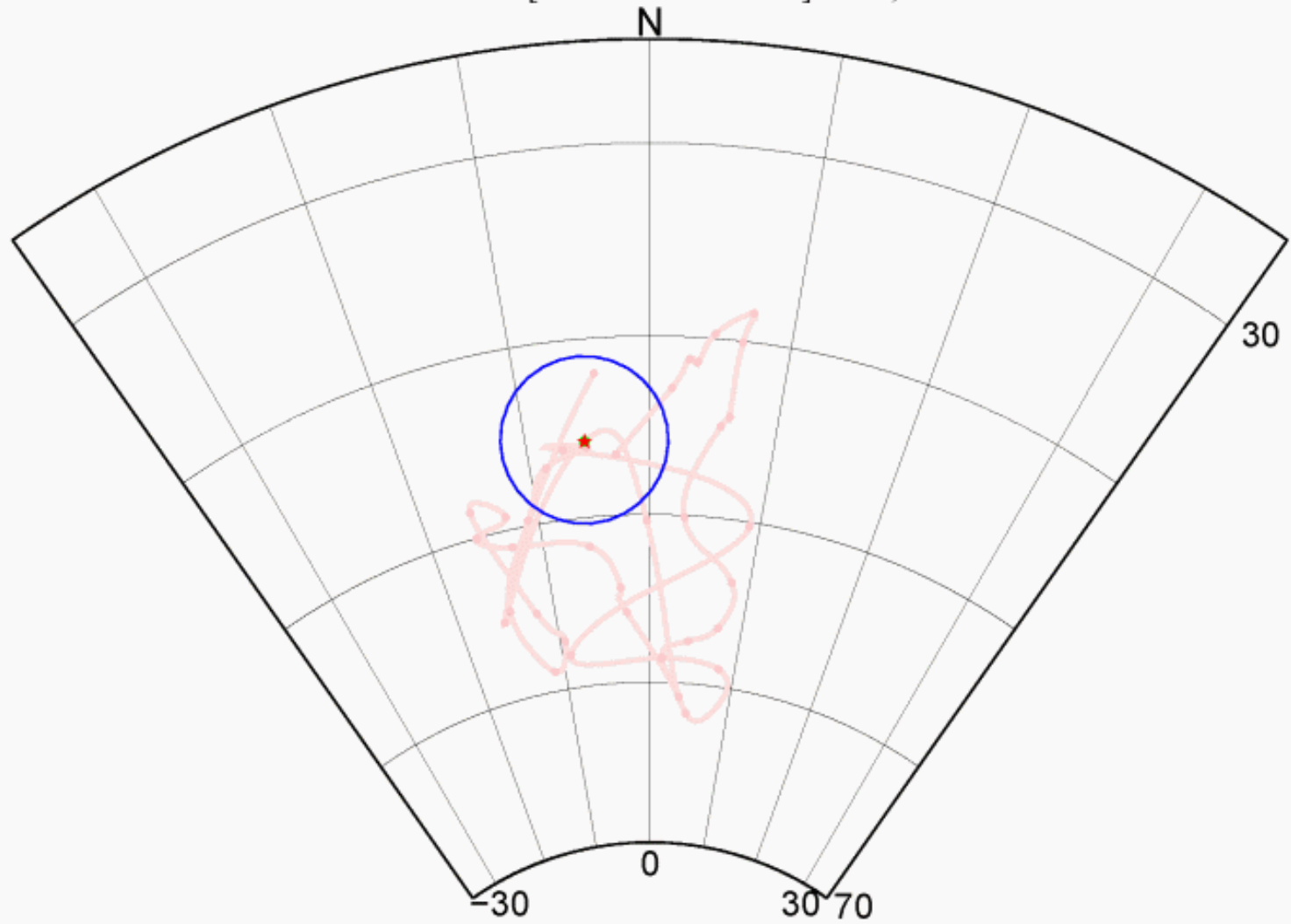
JAMADA 0.91 : [-025 - 0000 - 0024] Ns=3, Nd=45



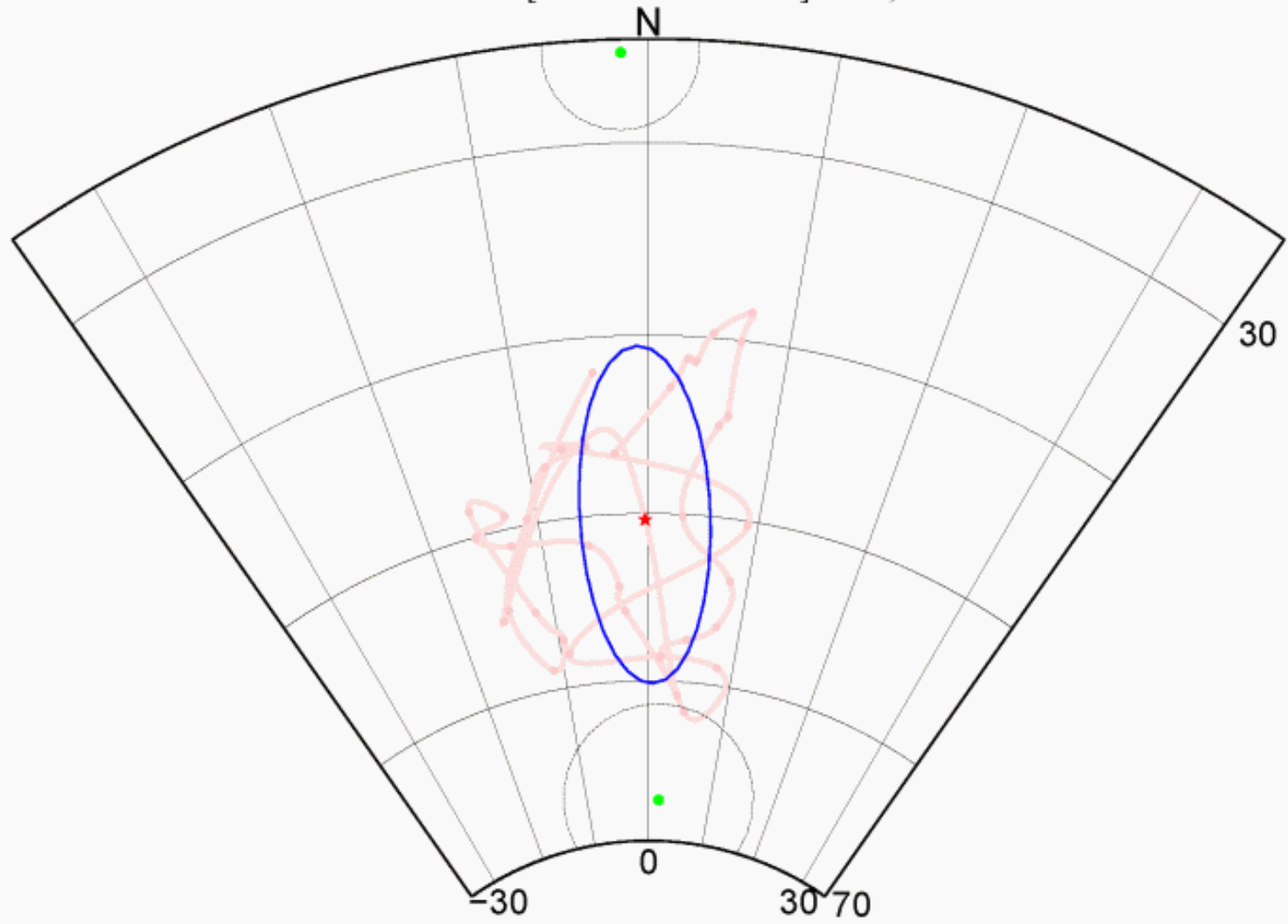
JAMADA 0.91 : [0025 - 0050 - 0074] Ns=2, Nd=20



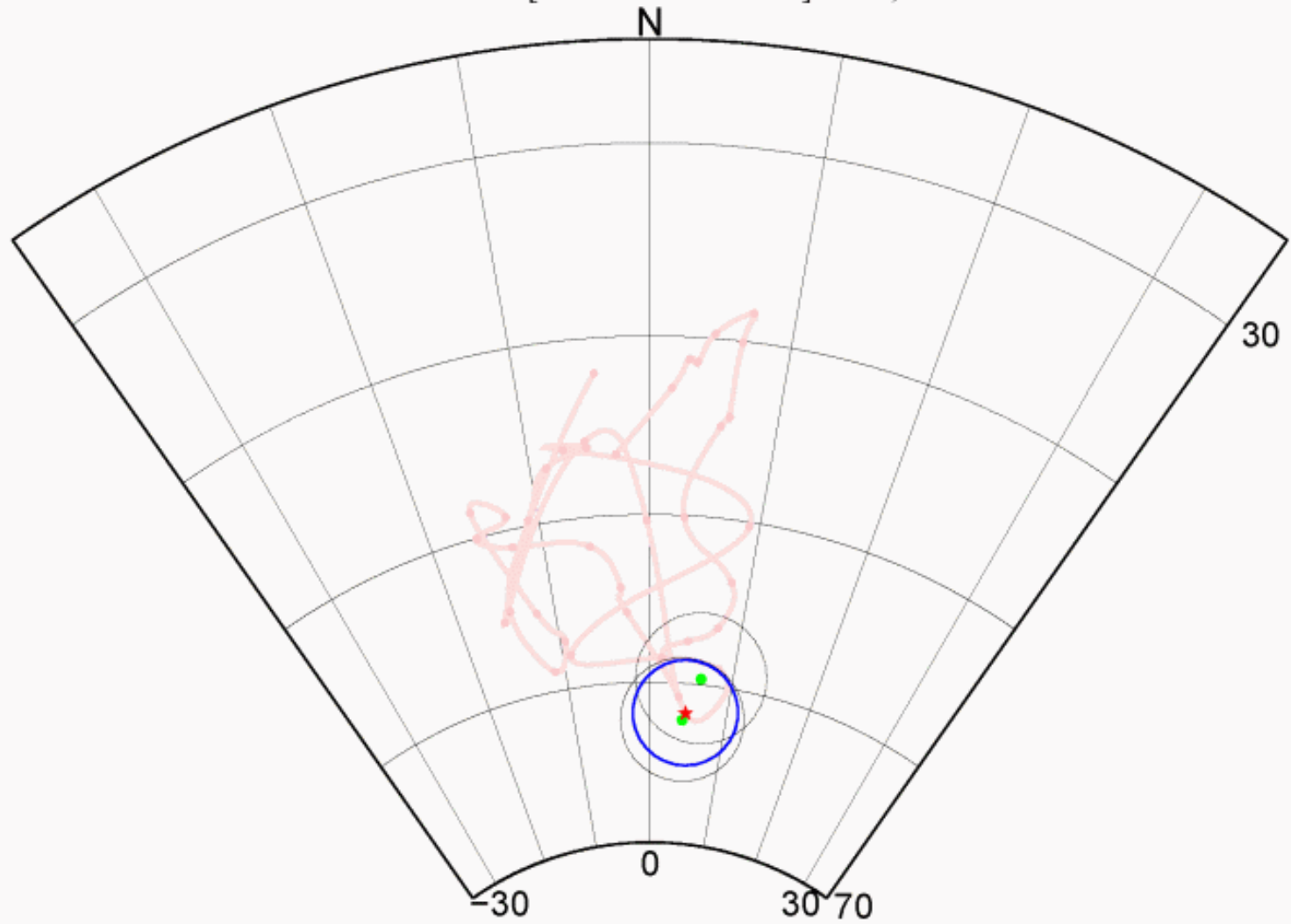
JAMADA 0.91 : [0075 - 0100 - 0124] Ns=1, Nd=10



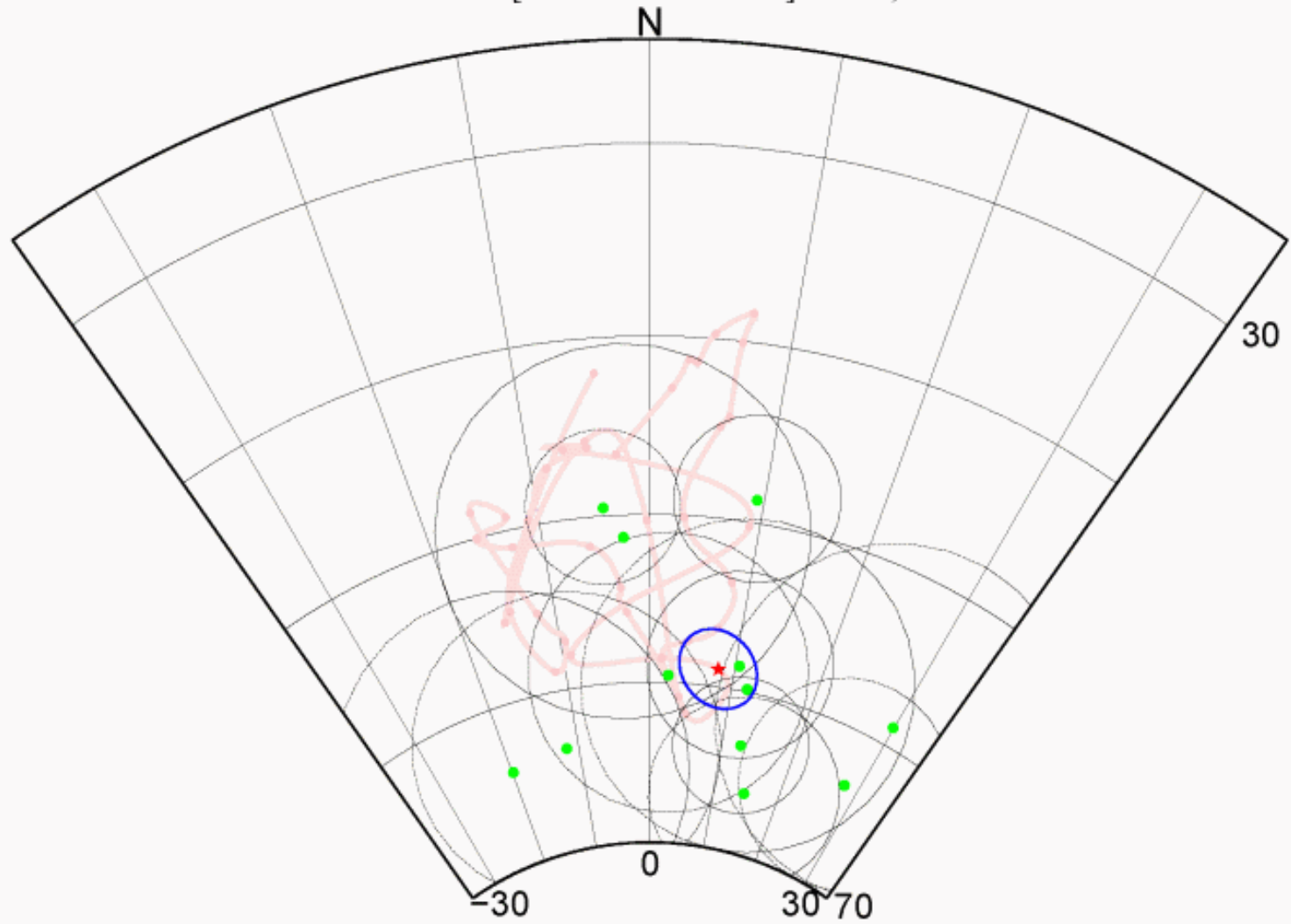
JAMADA 0.91 : [0125 - 0150 - 0174] Ns=2, Nd=37



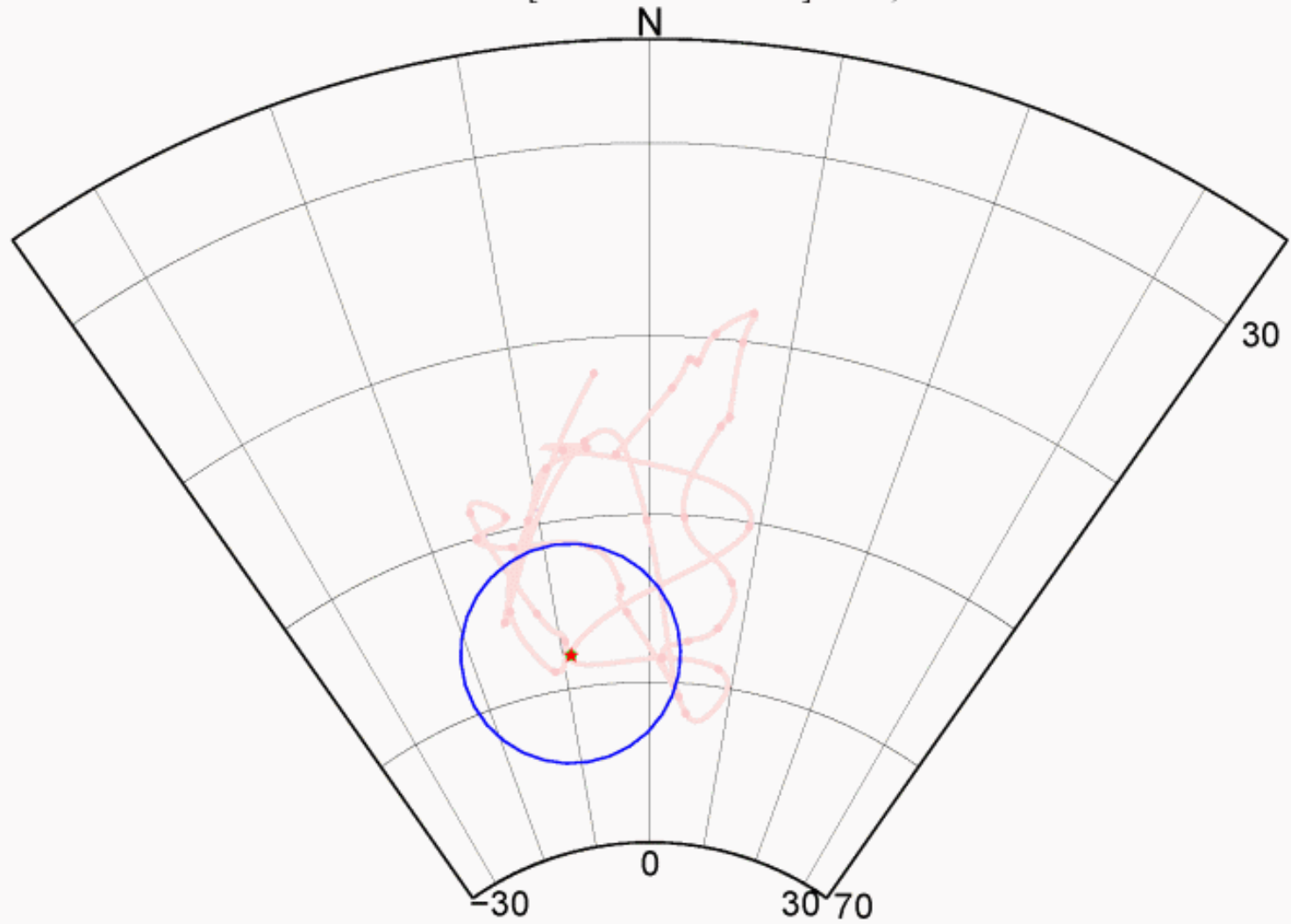
JAMADA 0.91 : [0175 - 0200 - 0224] Ns=2, Nd=73



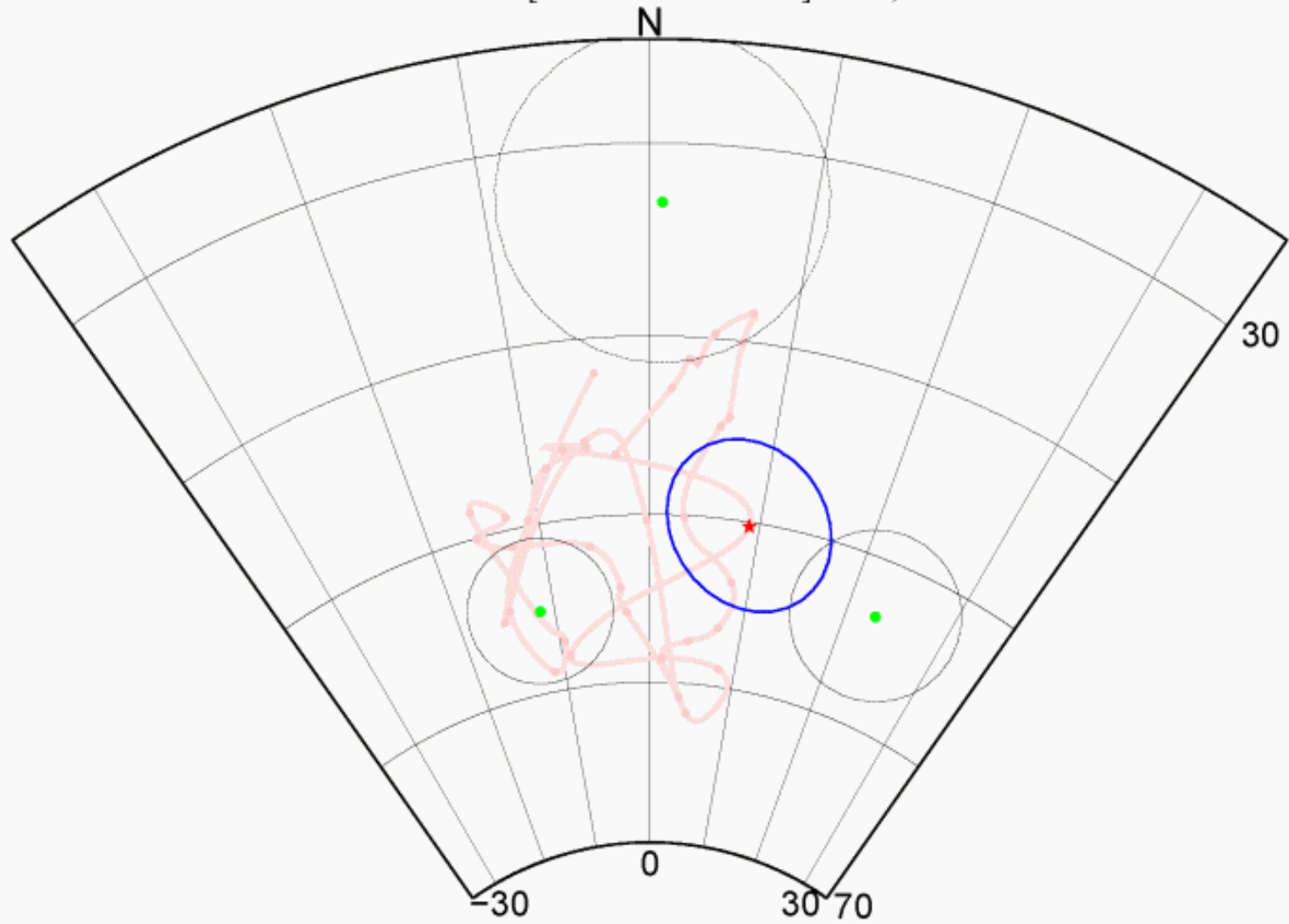
JAMADA 0.91 : [0225 - 0250 - 0274] Ns=12, Nd=136



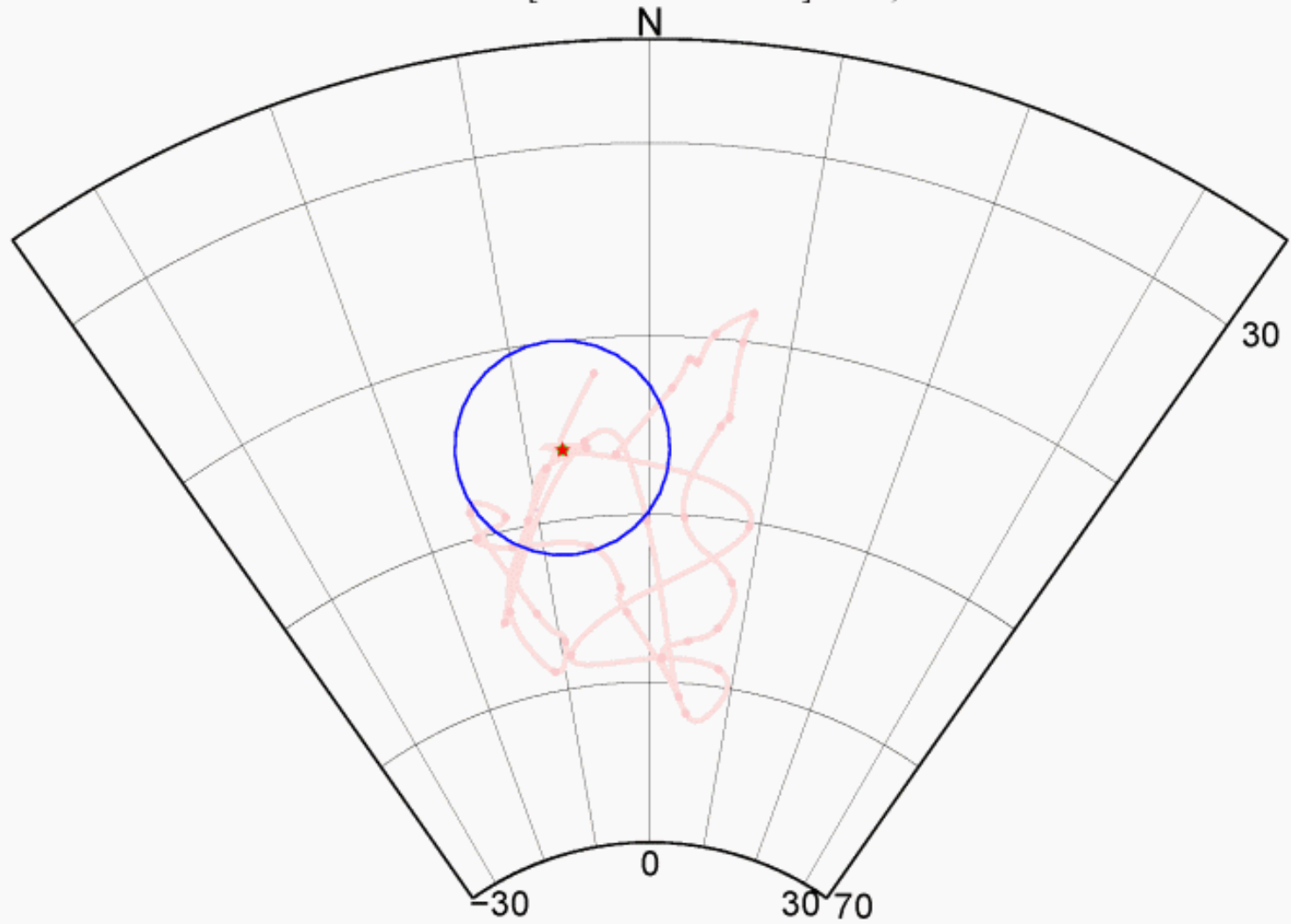
JAMADA 0.91 : [0275 - 0300 - 0324] Ns=1, Nd=10



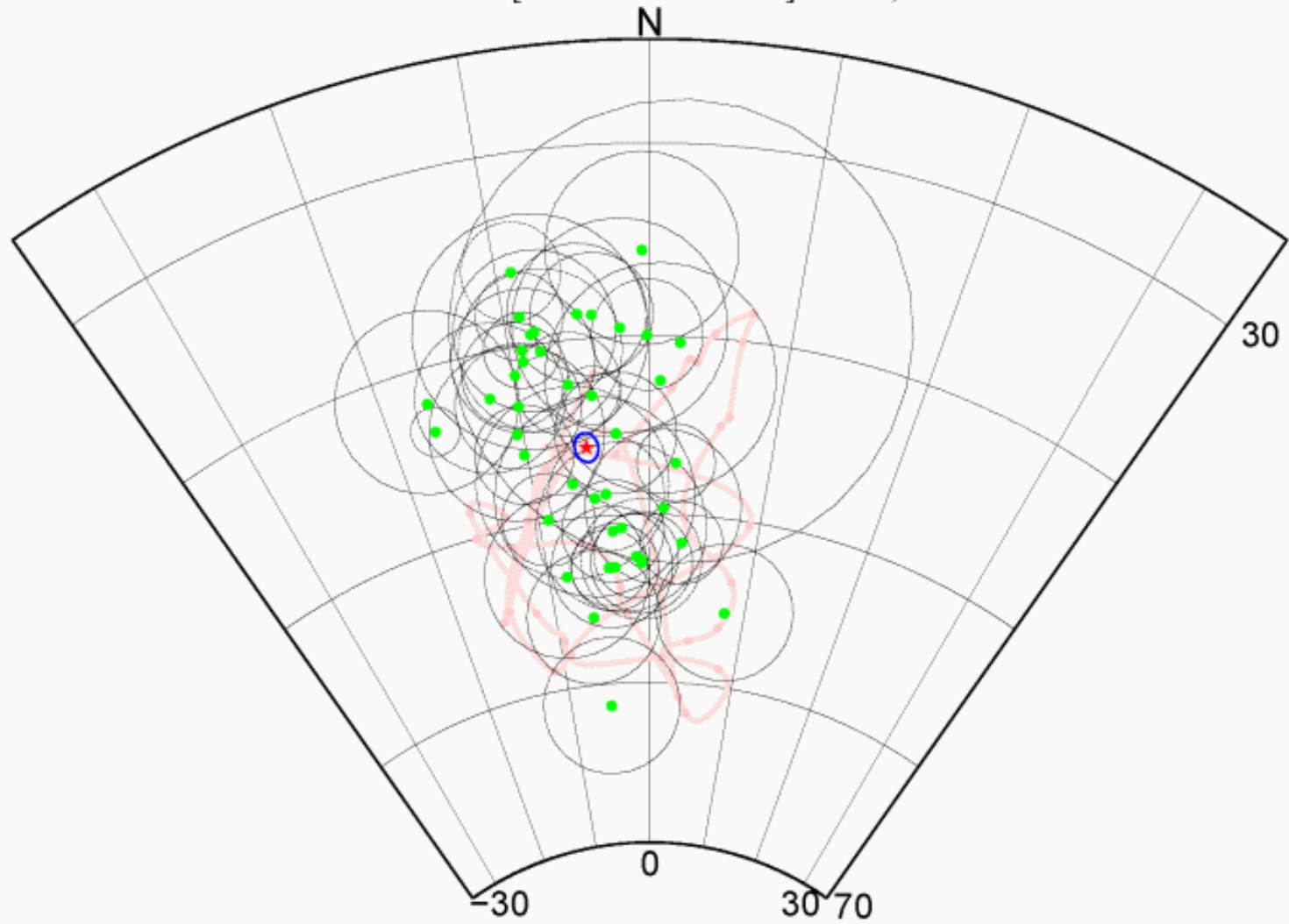
JAMADA 0.91 : [0325 - 0350 - 0374] Ns=3, Nd=41



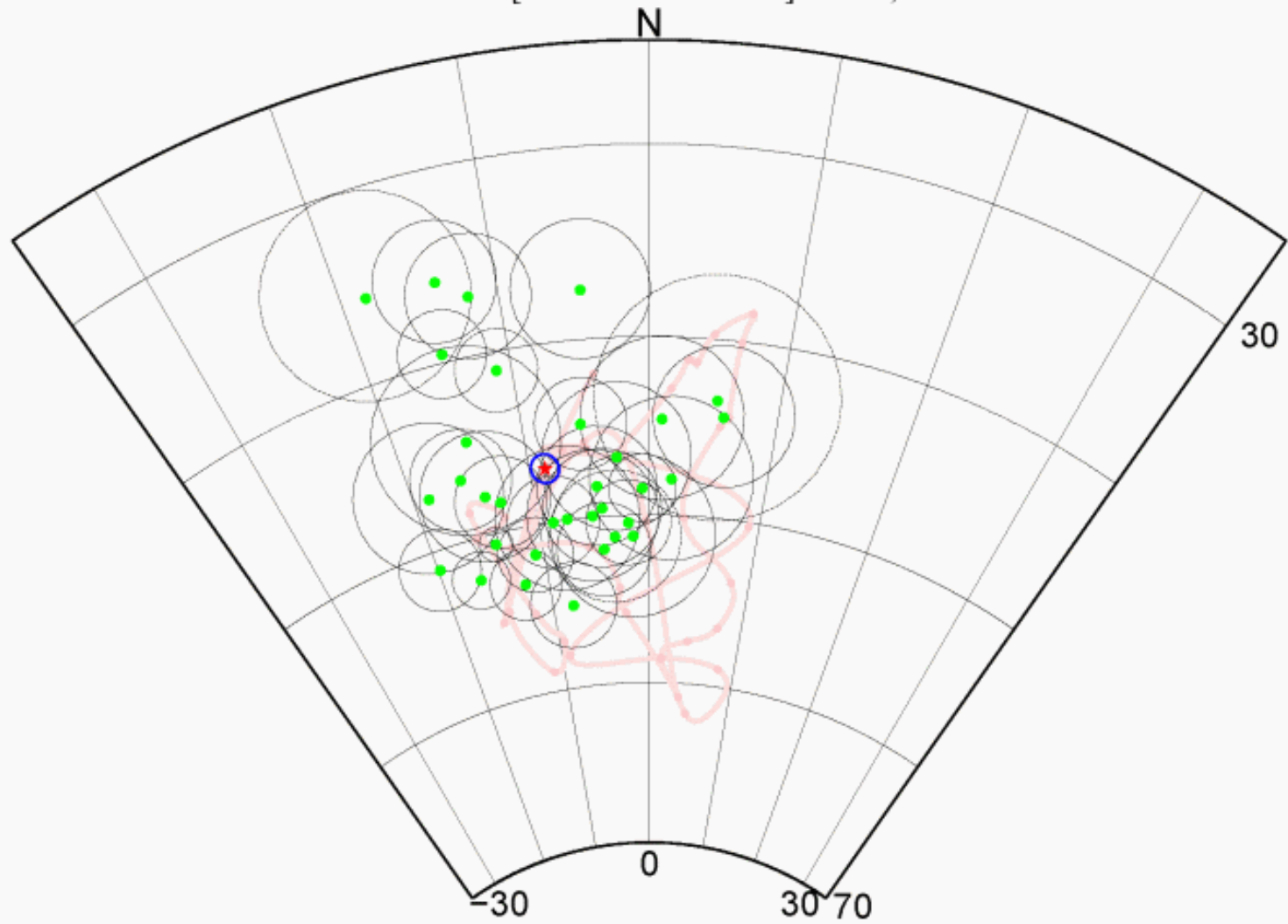
JAMADA 0.91 : [0375 - 0400 - 0424] Ns=1, Nd=14



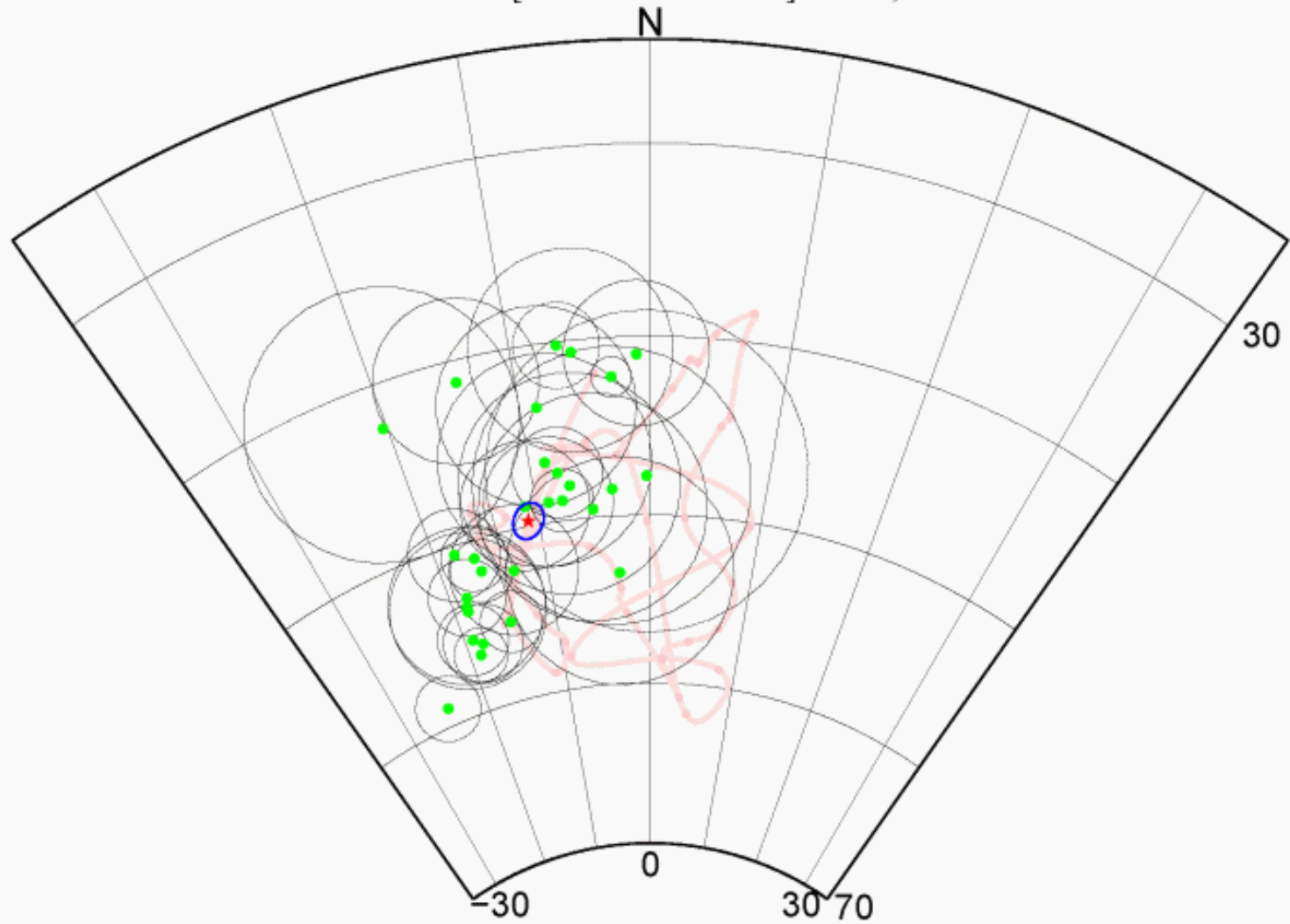
JAMADA 0.91 : [0425 - 0450 - 0474] Ns=43, Nd=655



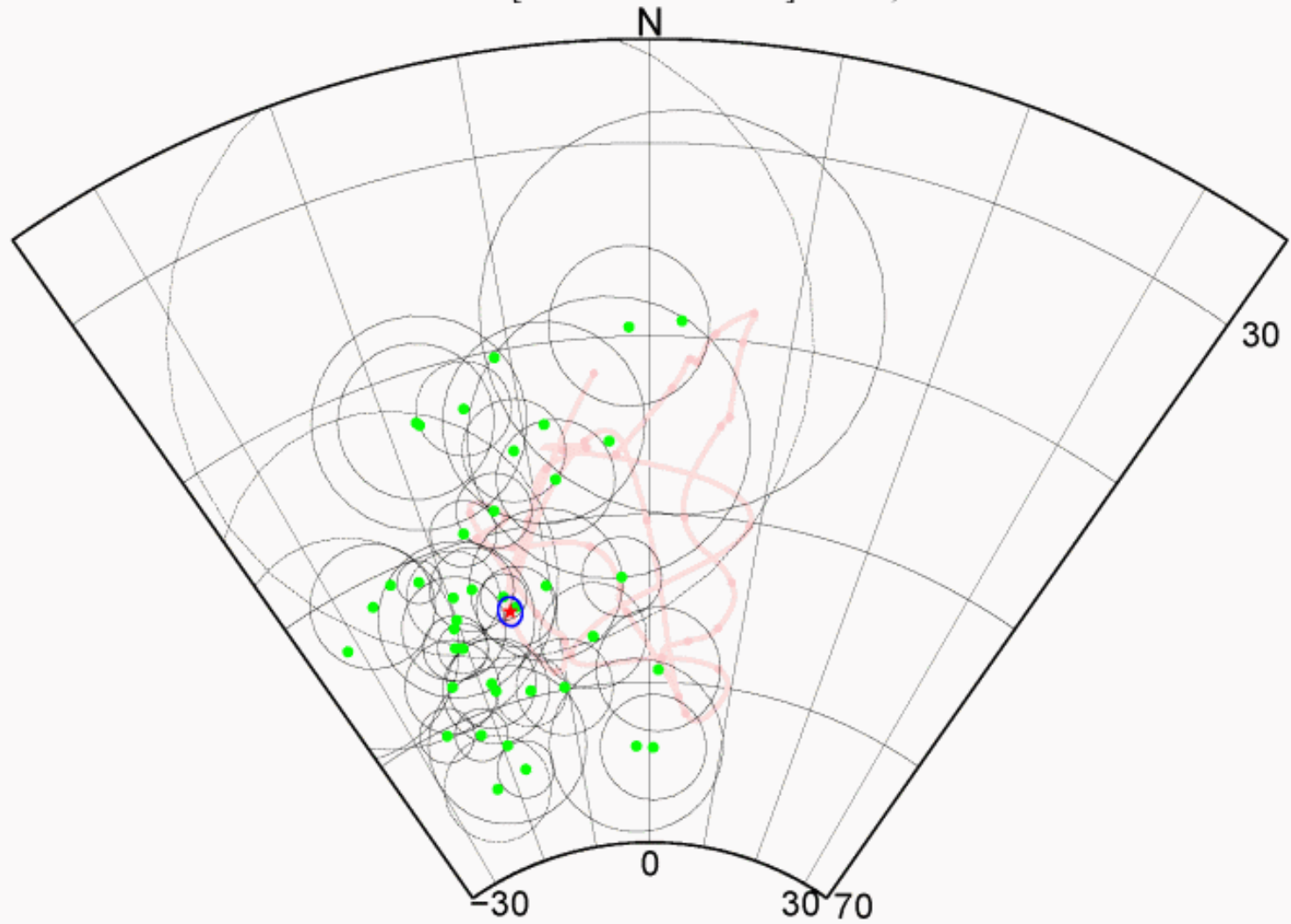
JAMADA 0.91 : [0475 - 0500 - 0524] N_s=33, N_d=483



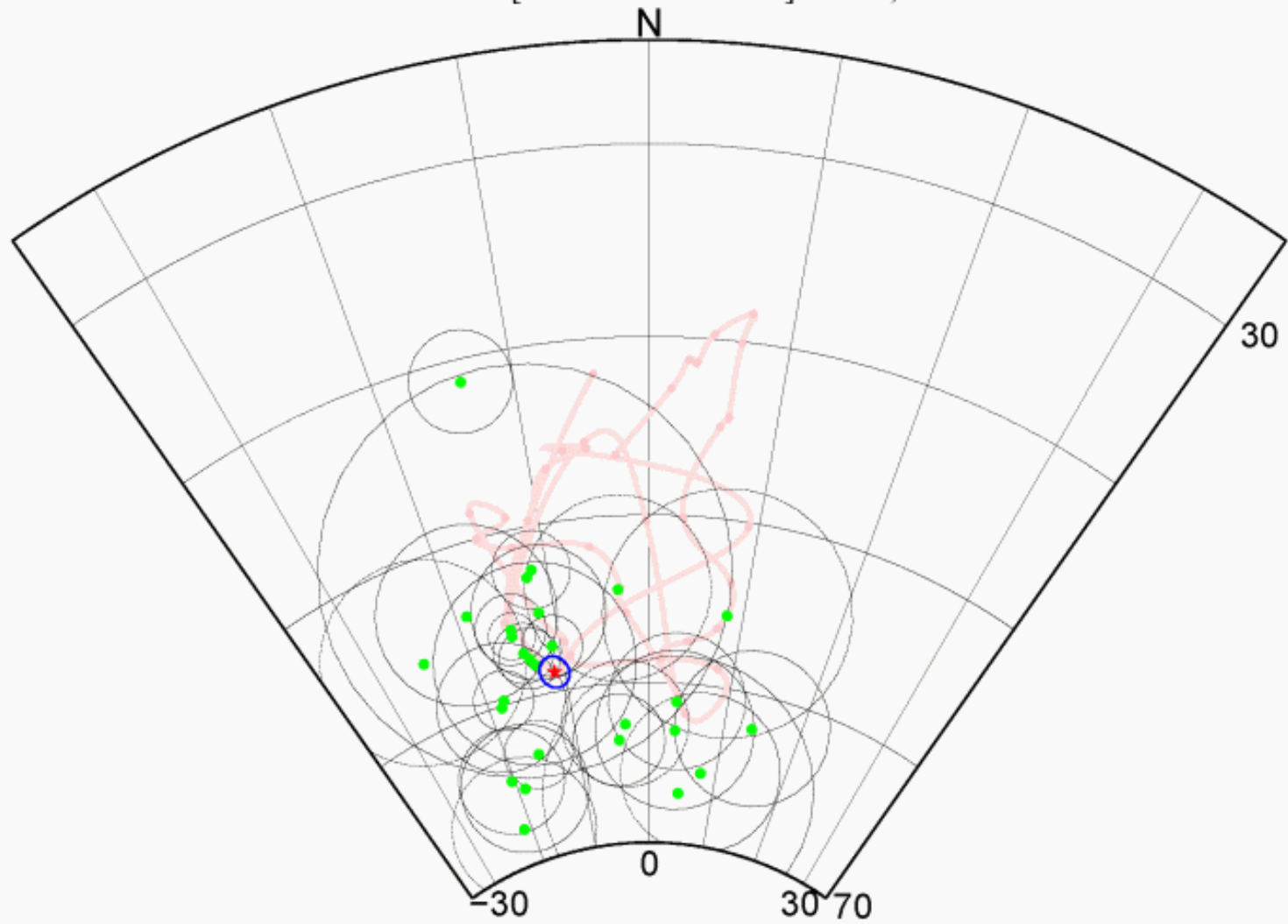
JAMADA 0.91 : [0525 - 0550 - 0574] Ns=29, Nd=348



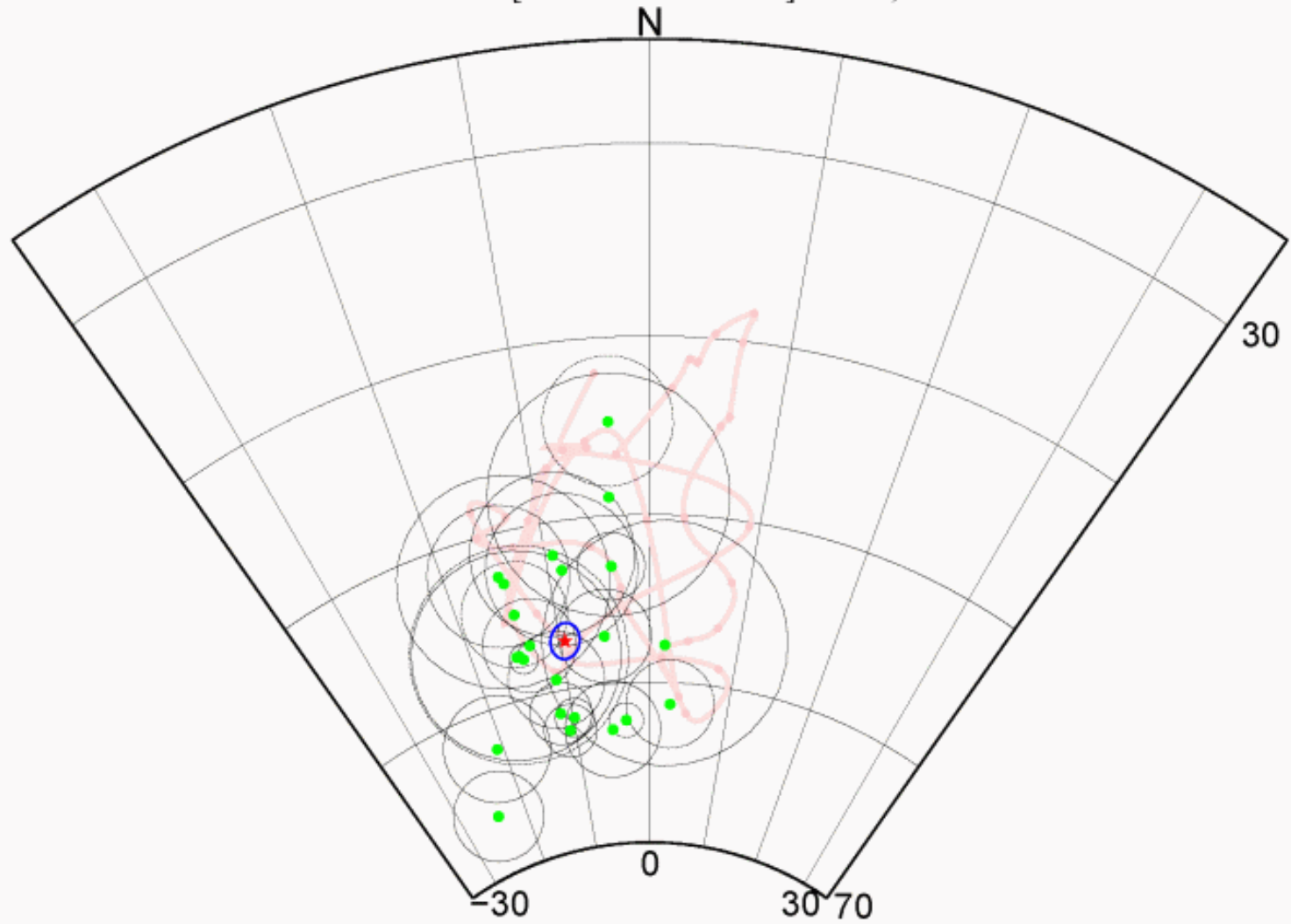
JAMADA 0.91 : [0575 - 0600 - 0624] Ns=40, Nd=546



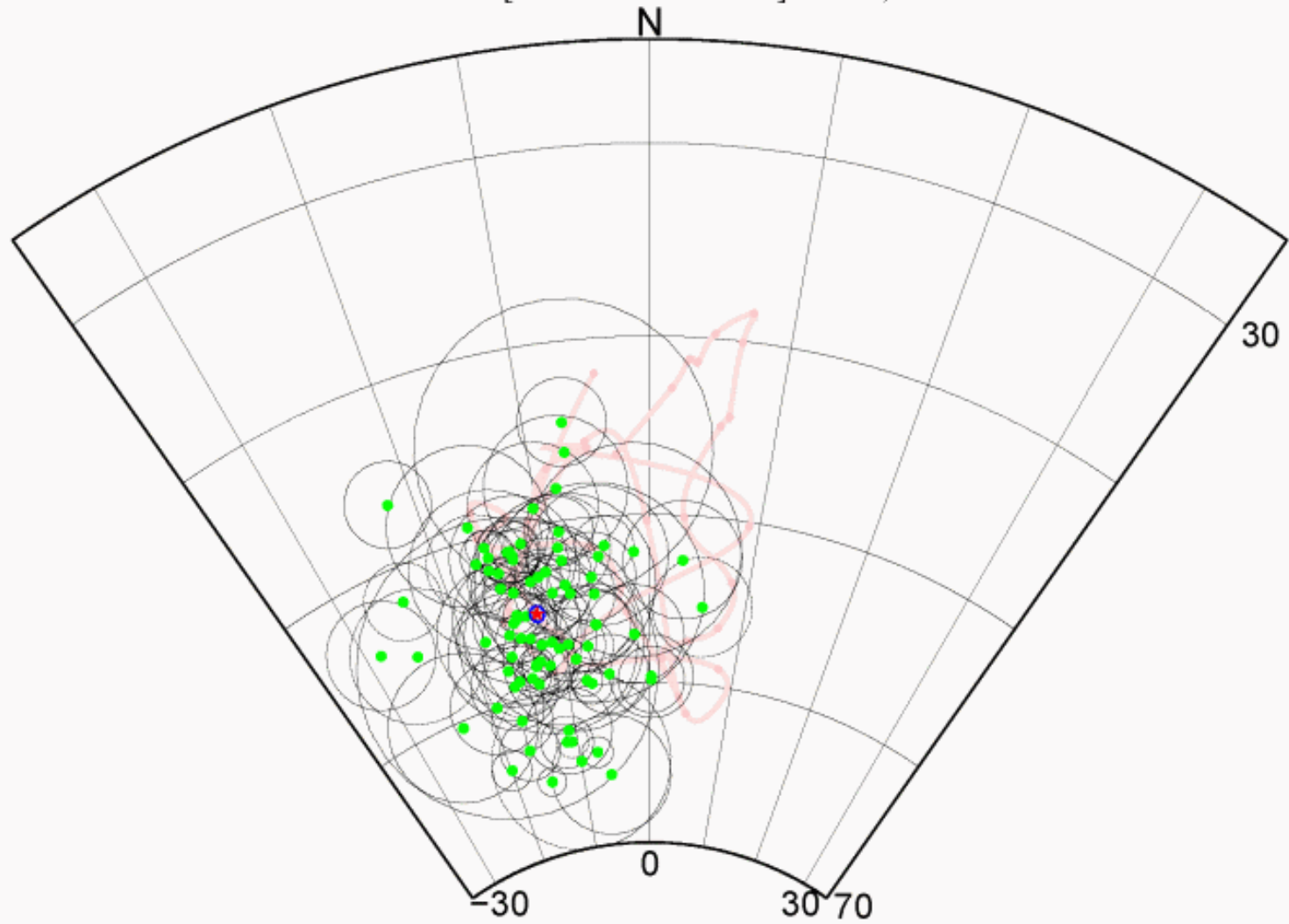
JAMADA 0.91 : [0625 - 0650 - 0674] Ns=27, Nd=413



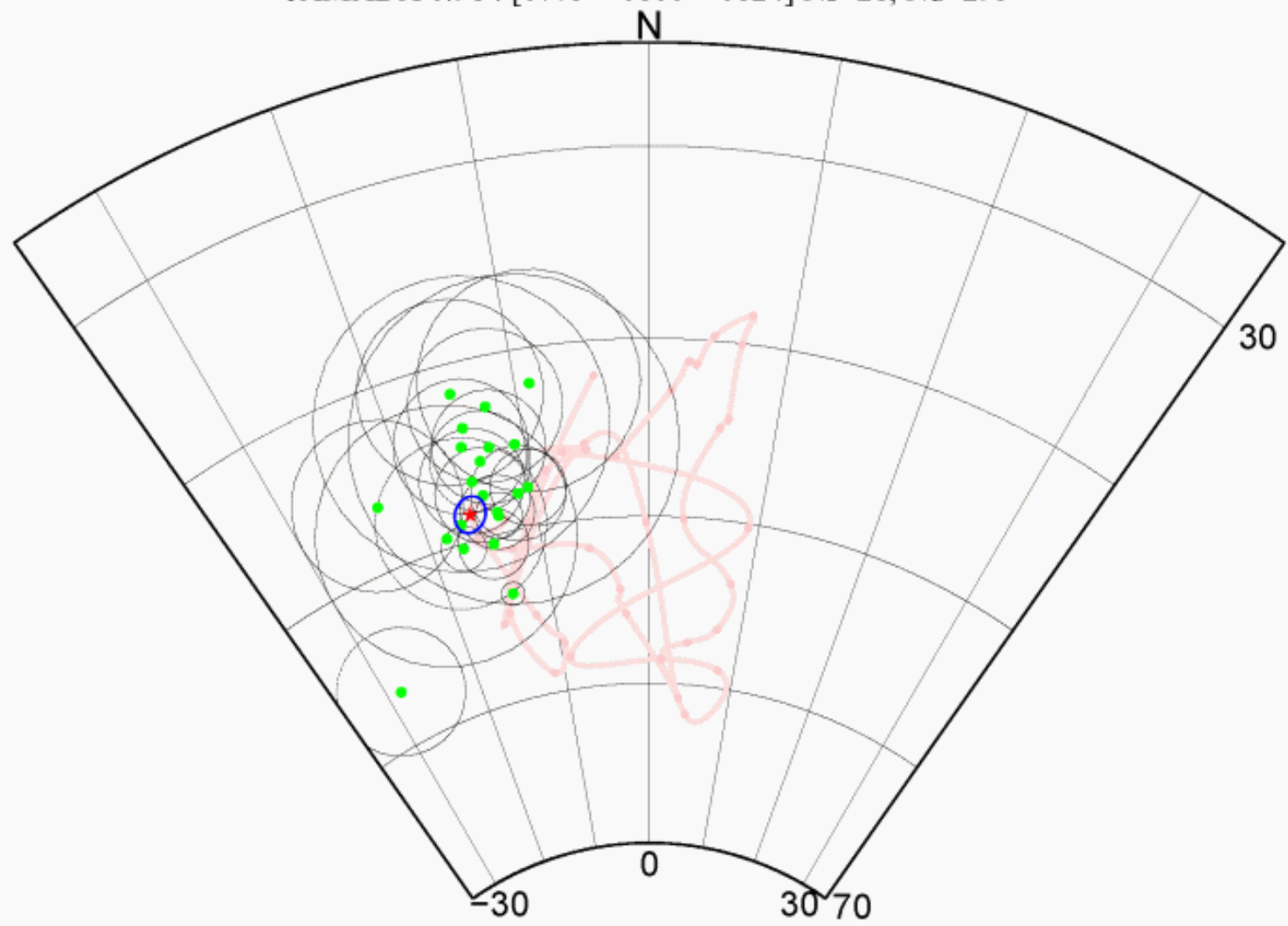
JAMADA 0.91 : [0675 - 0700 - 0724] N_s=23, N_d=282



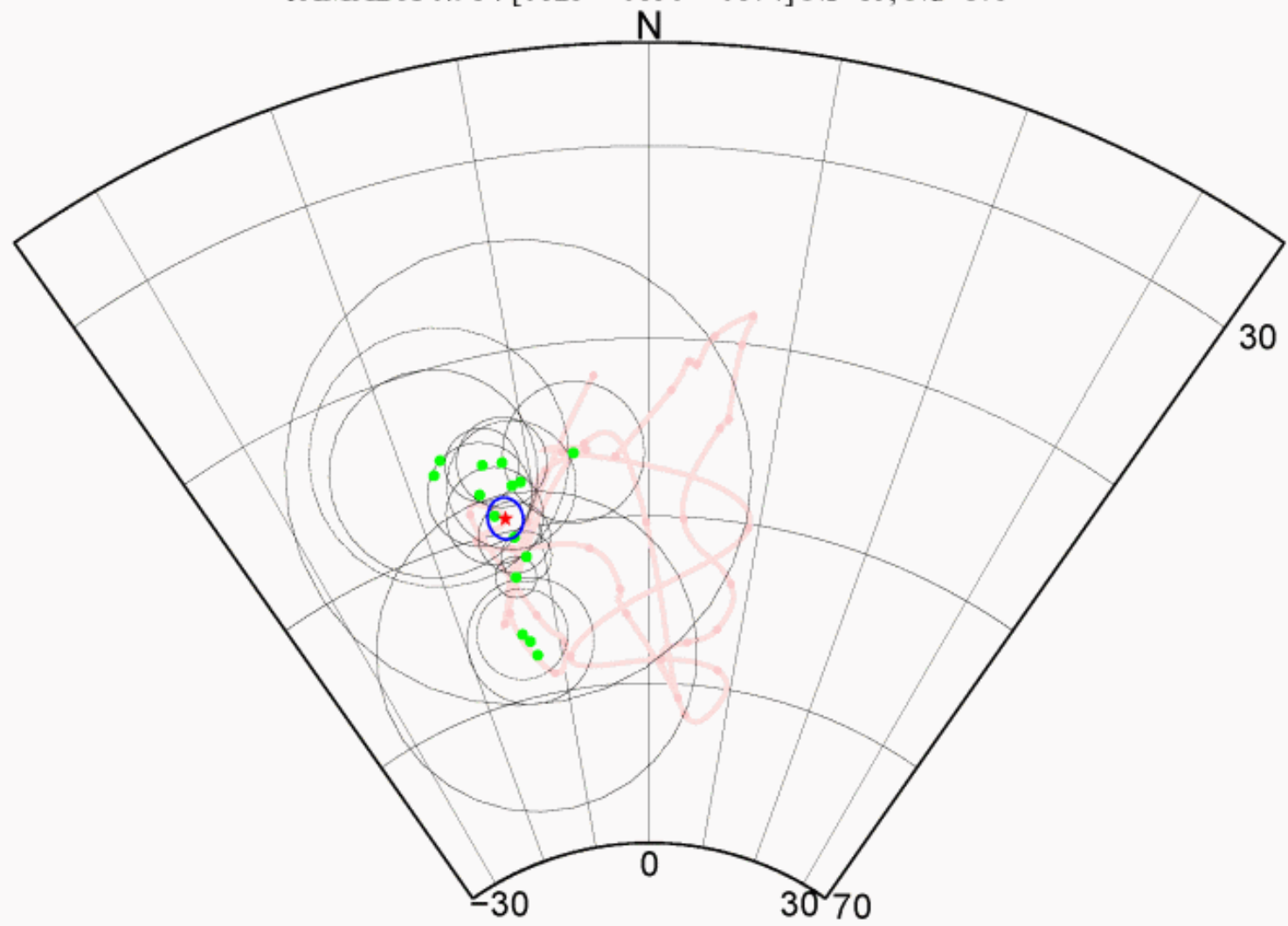
JAMADA 0.91 : [0725 - 0750 - 0774] Ns=81, Nd=1146



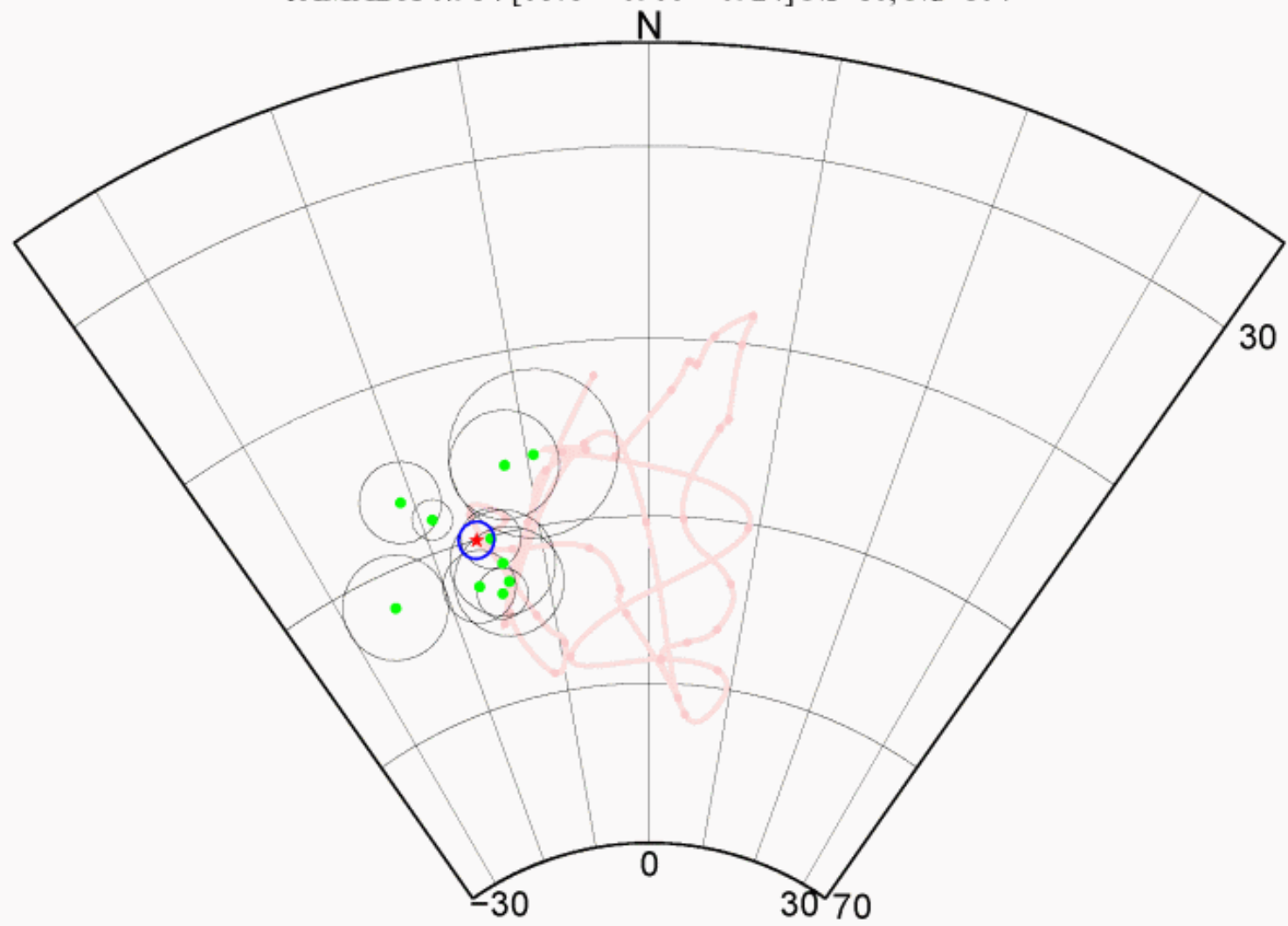
JAMADA 0.91 : [0775 - 0800 - 0824] Ns=21, Nd=295



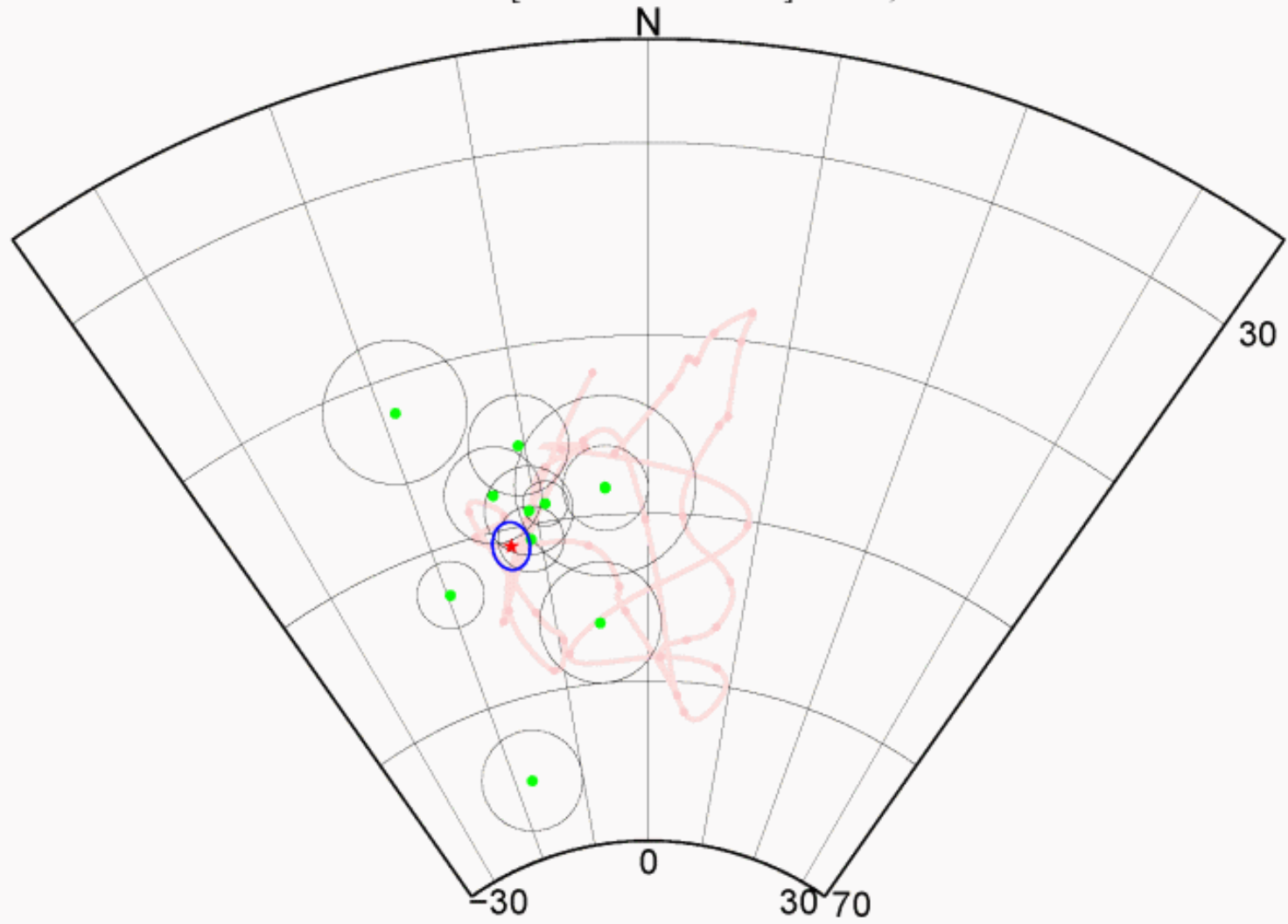
JAMADA 0.91 : [0825 - 0850 - 0874] N_s=15, N_d=175



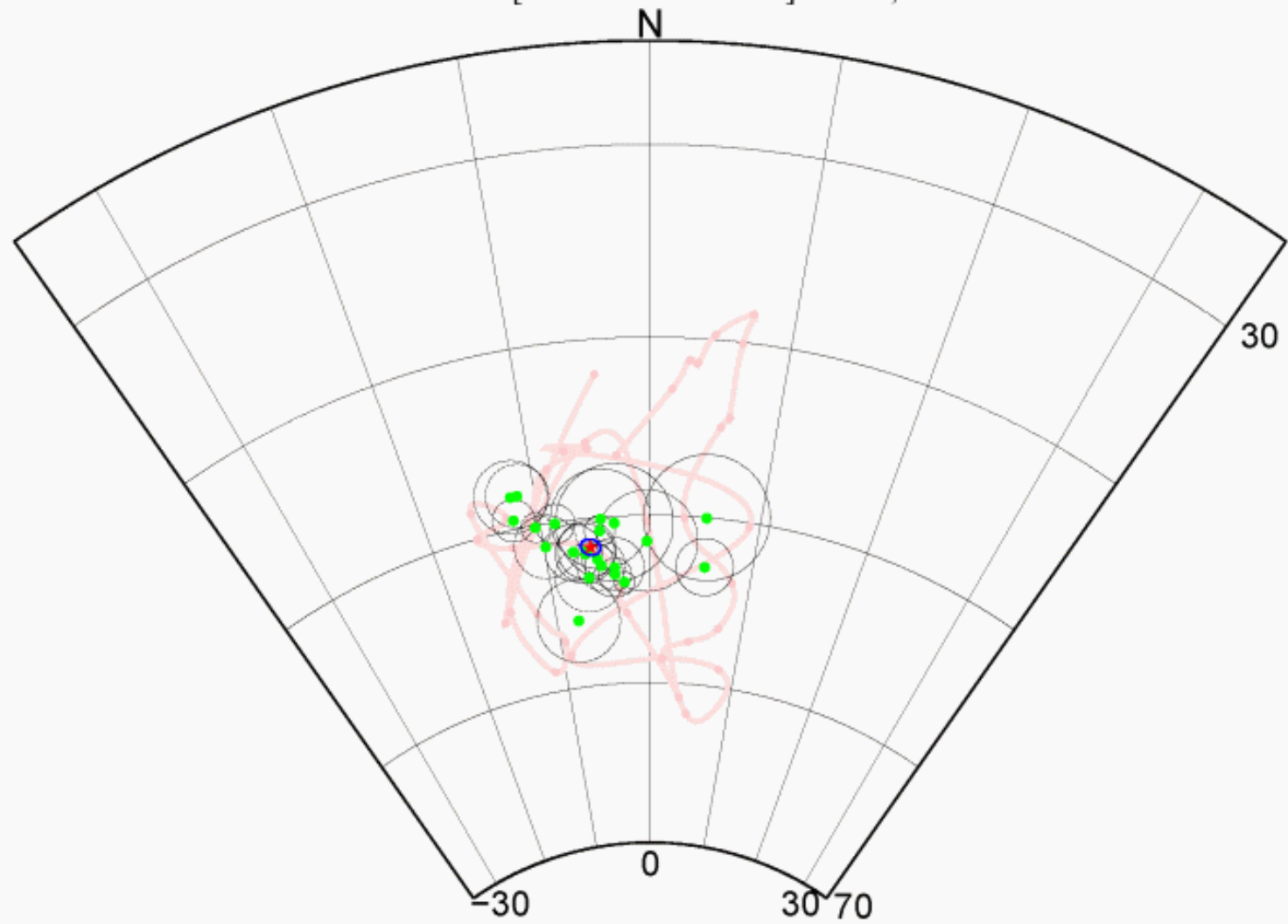
JAMADA 0.91 : [0875 - 0900 - 0924] N_s=10, N_d=104



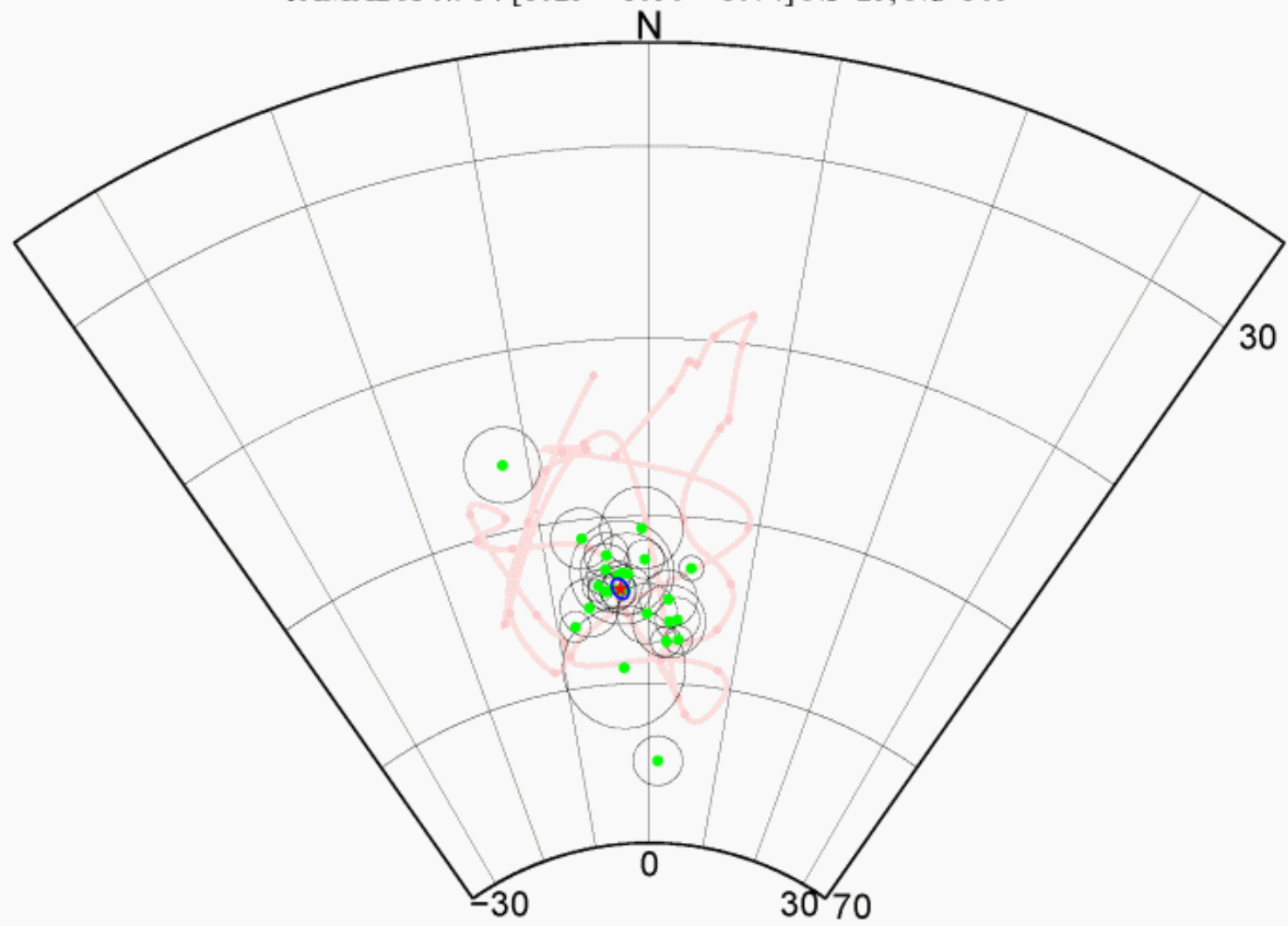
JAMADA 0.91 : [0925 - 0950 - 0974] N_s=11, N_d=154



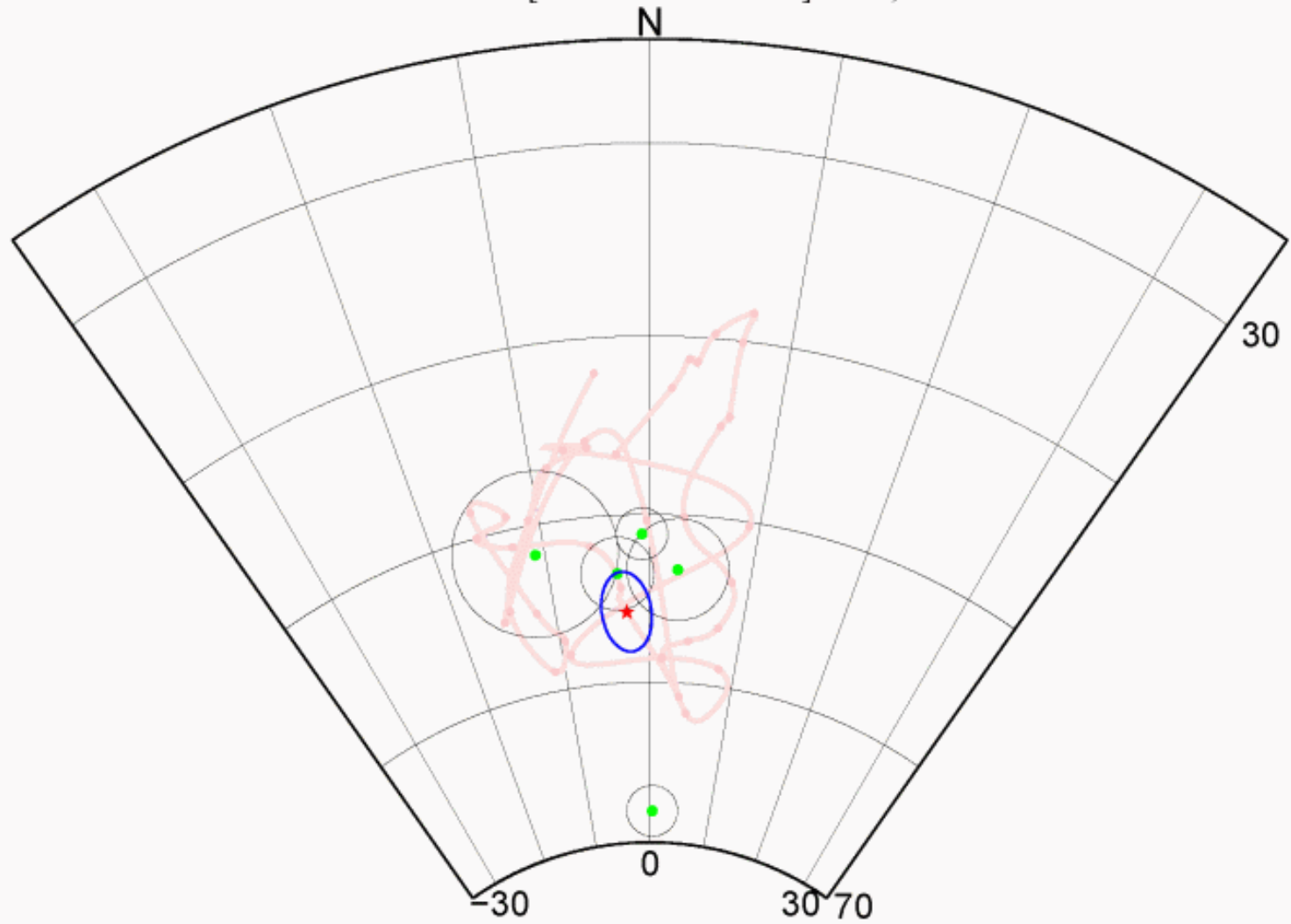
JAMADA 0.91 : [0975 - 1000 - 1024] N_s=22, N_d=255



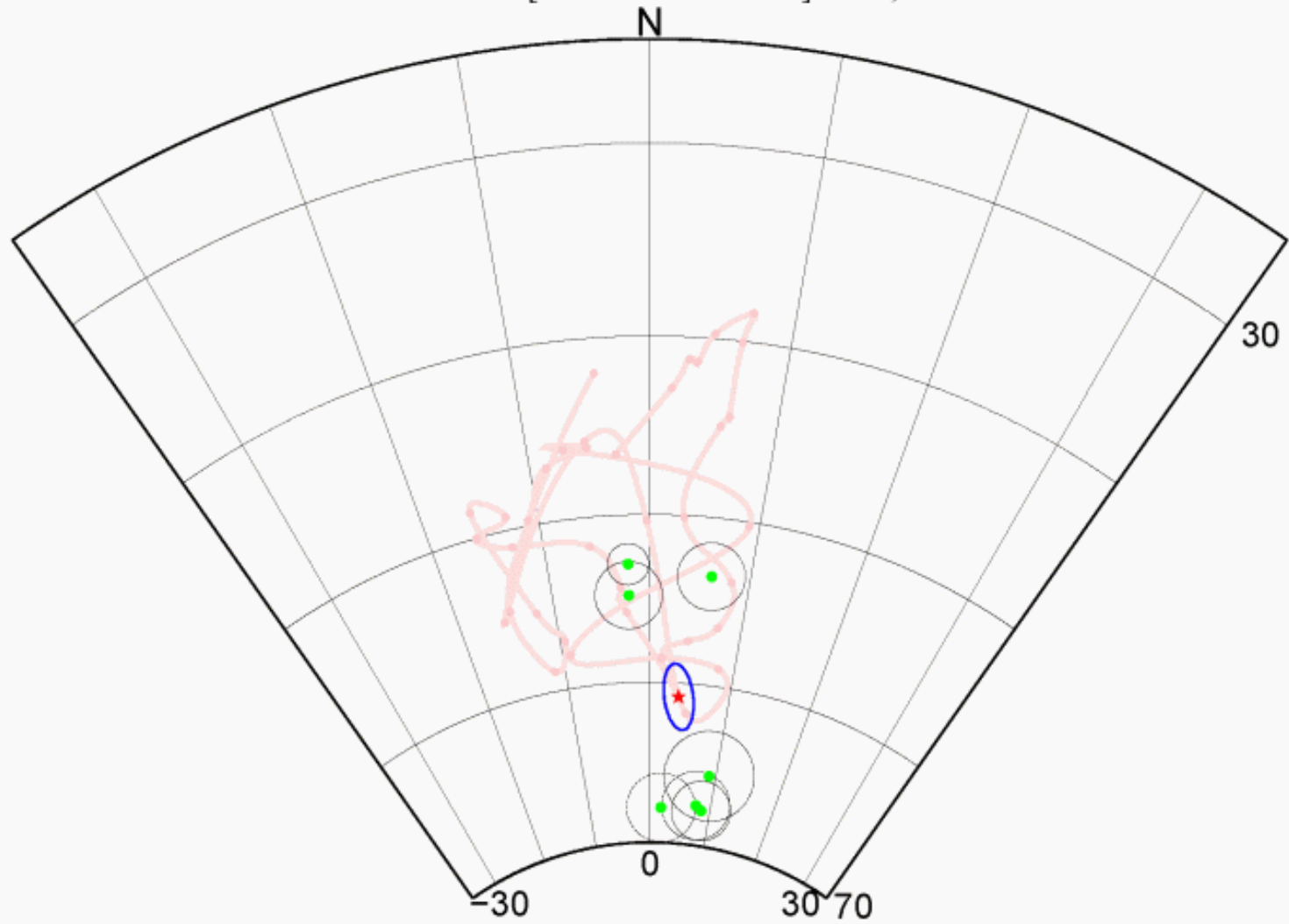
JAMADA 0.91 : [1025 - 1050 - 1074] N_s=25, N_d=305



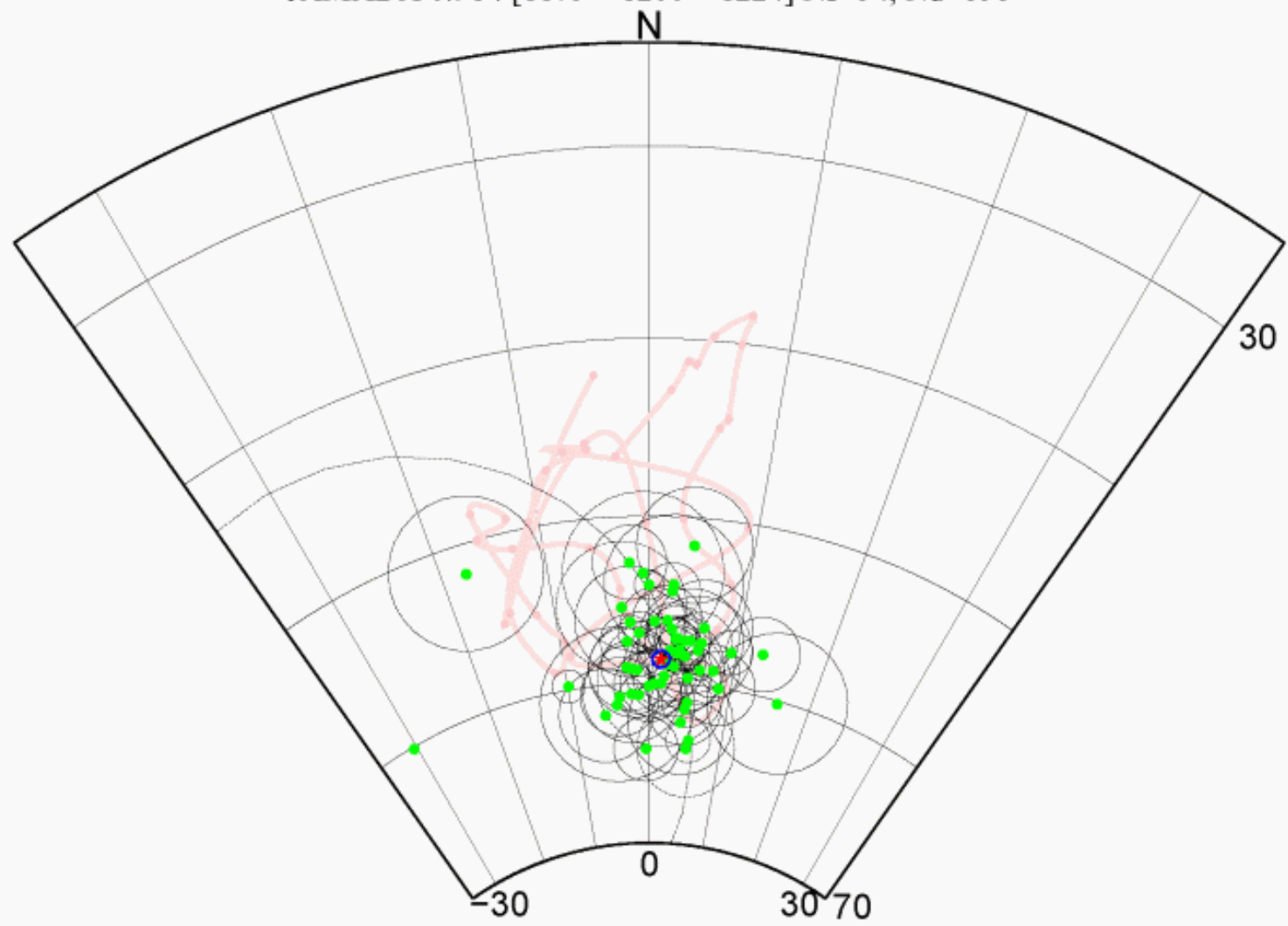
JAMADA 0.91 : [1075 - 1100 - 1124] Ns=5, Nd=58



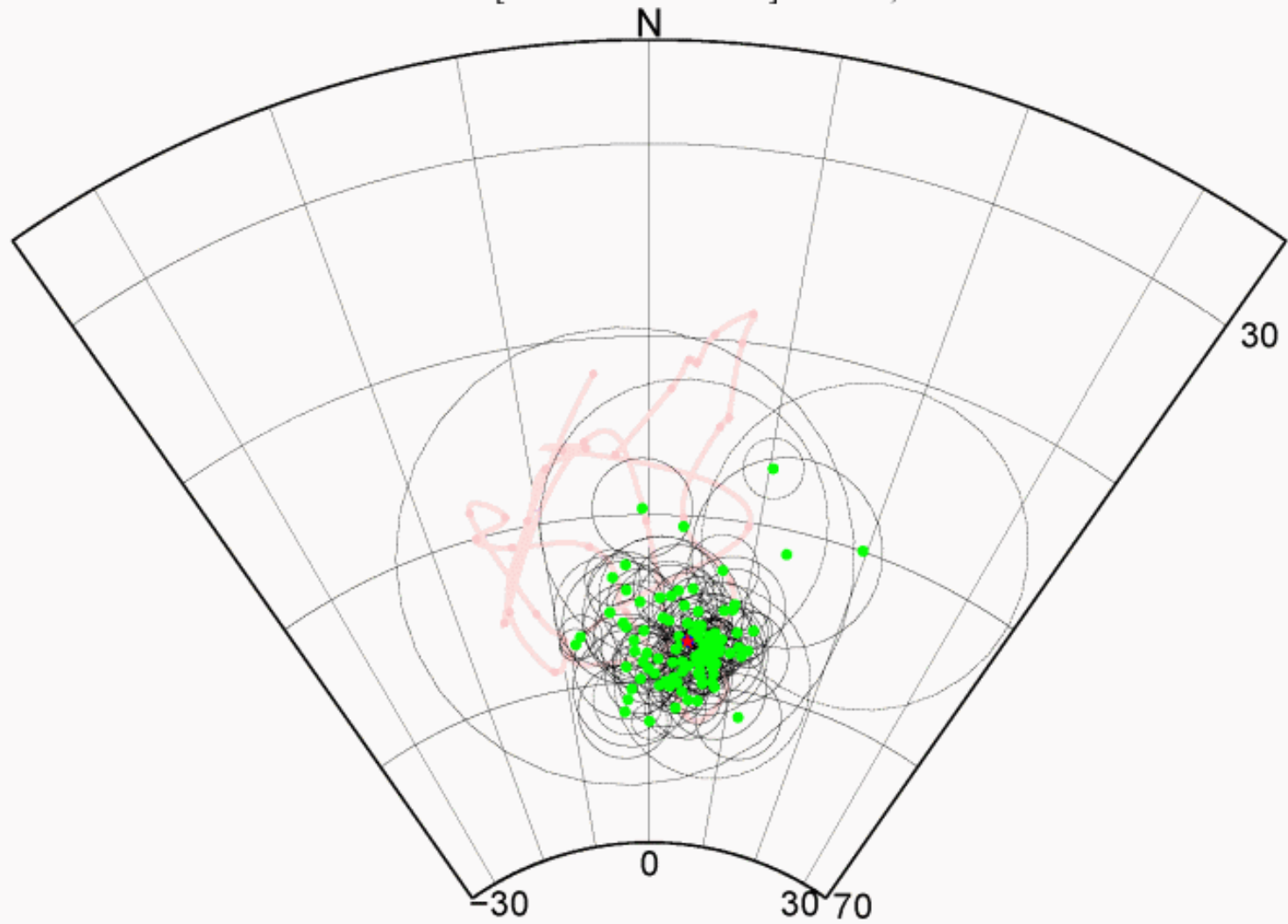
JAMADA 0.91 : [1125 - 1150 - 1174] Ns=7, Nd=81



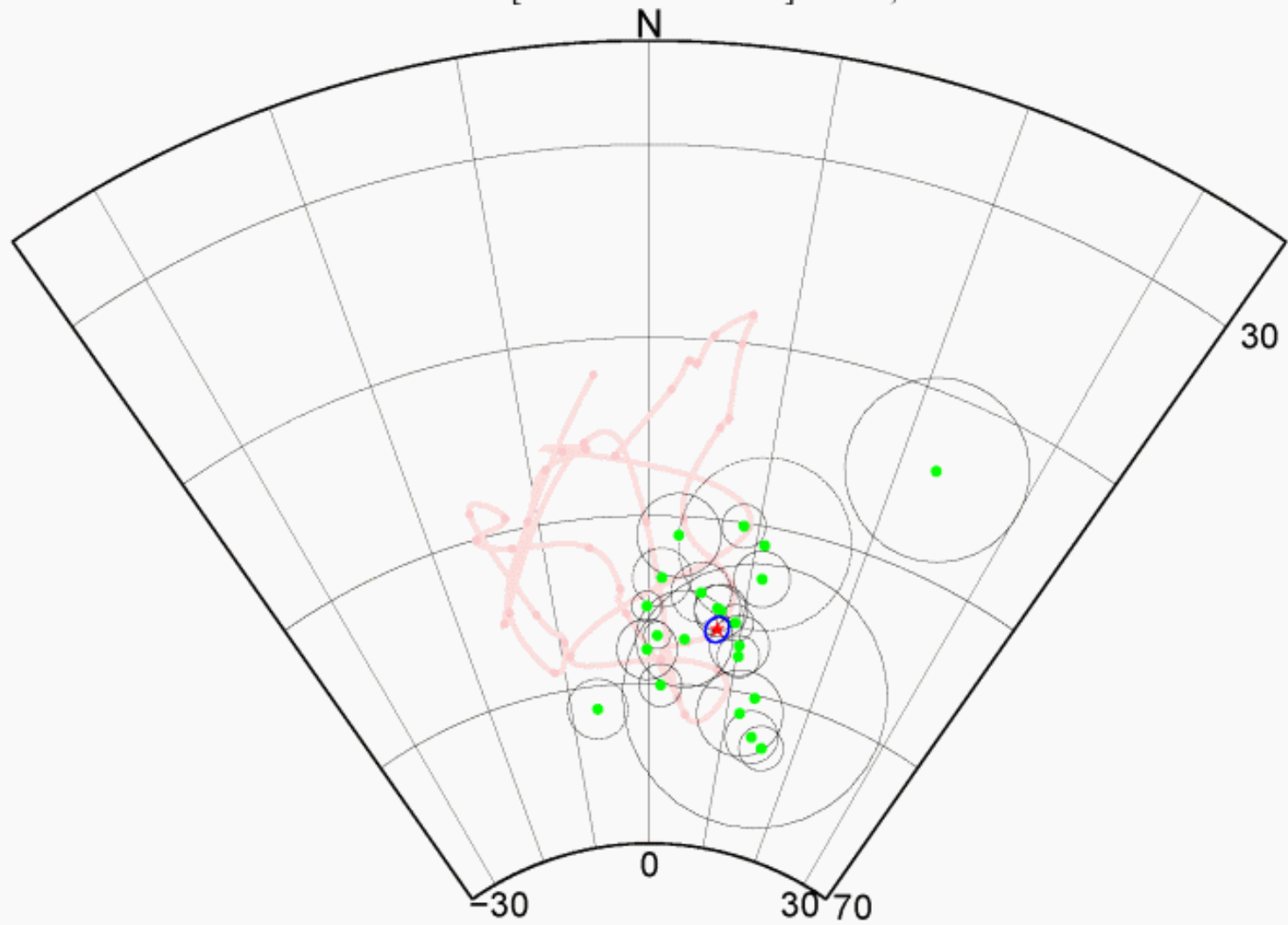
JAMADA 0.91 : [1175 - 1200 - 1224] Ns=54, Nd=656



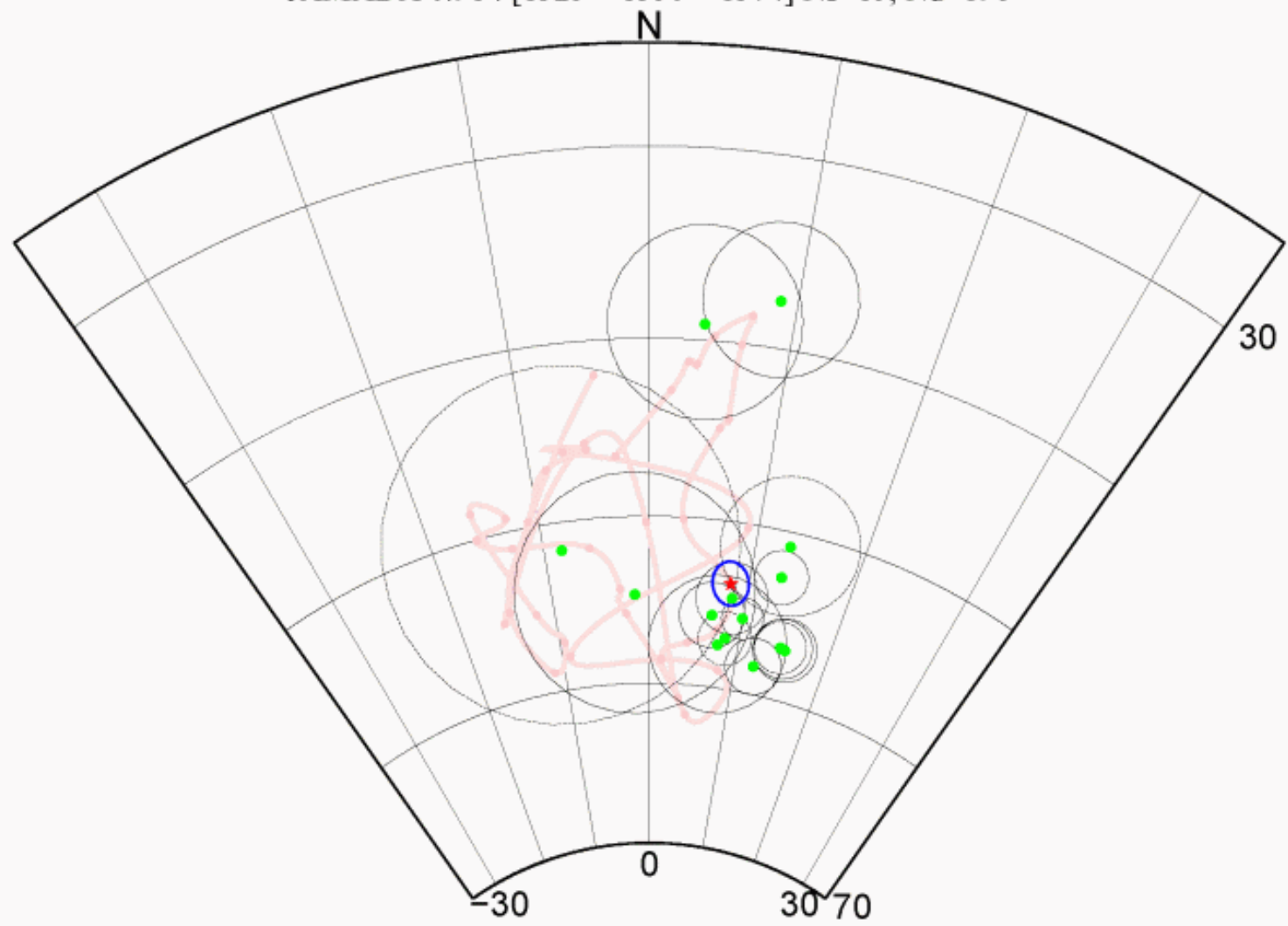
JAMADA 0.91 : [1225 - 1250 - 1274] Ns=100, Nd=1169



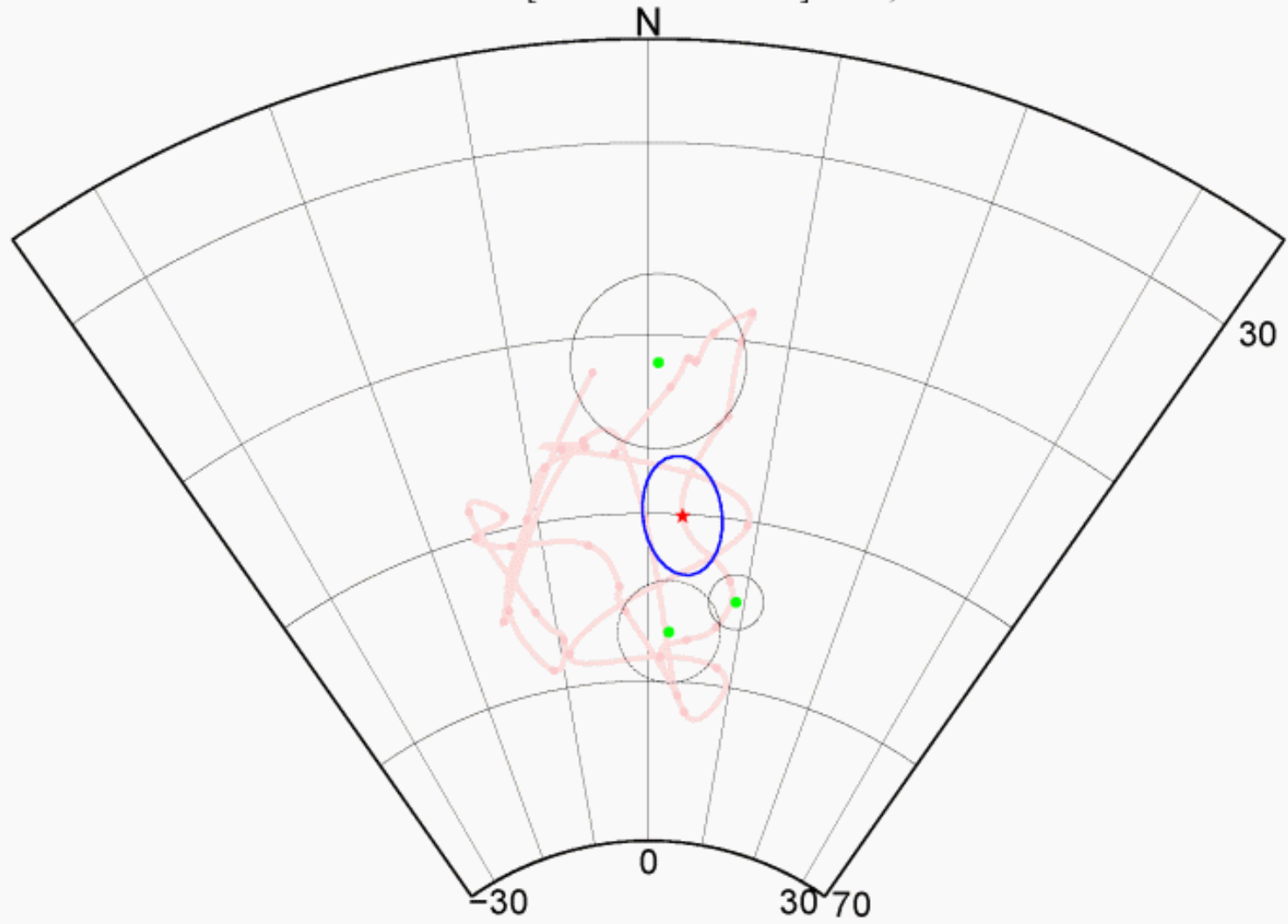
JAMADA 0.91 : [1275 - 1300 - 1324] Ns=22, Nd=290



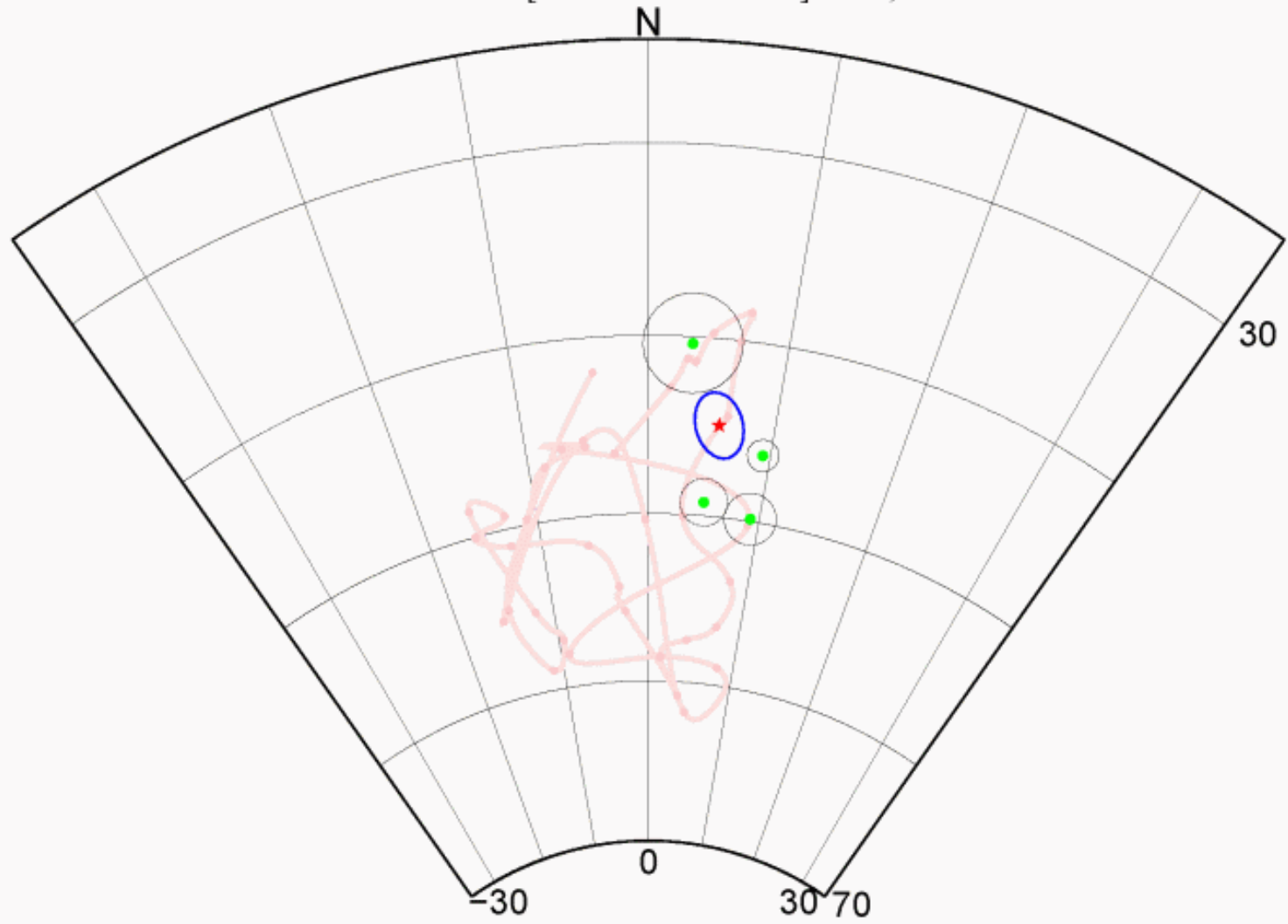
JAMADA 0.91 : [1325 - 1350 - 1374] Ns=15, Nd=198



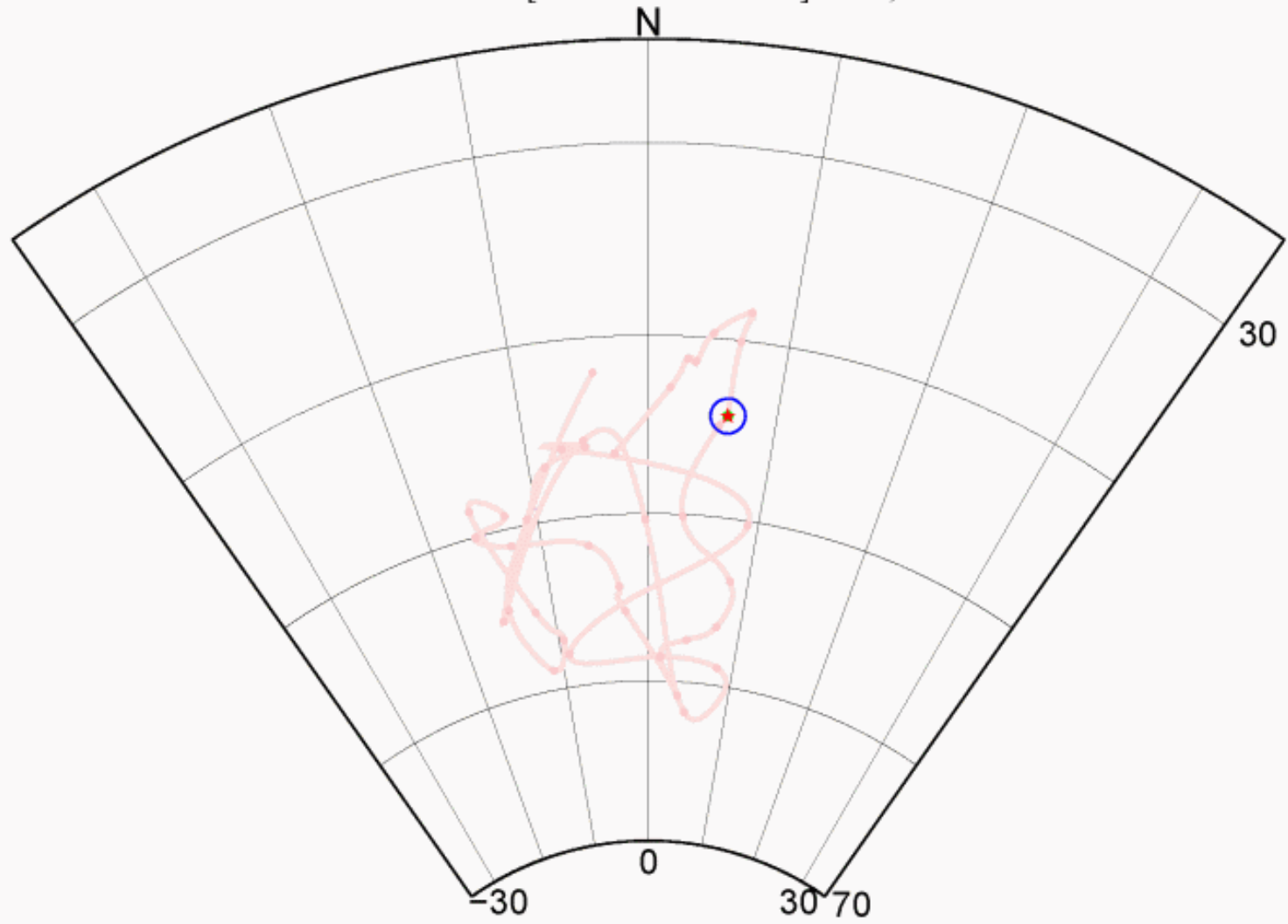
JAMADA 0.91 : [1375 - 1400 - 1424] Ns=3, Nd=48



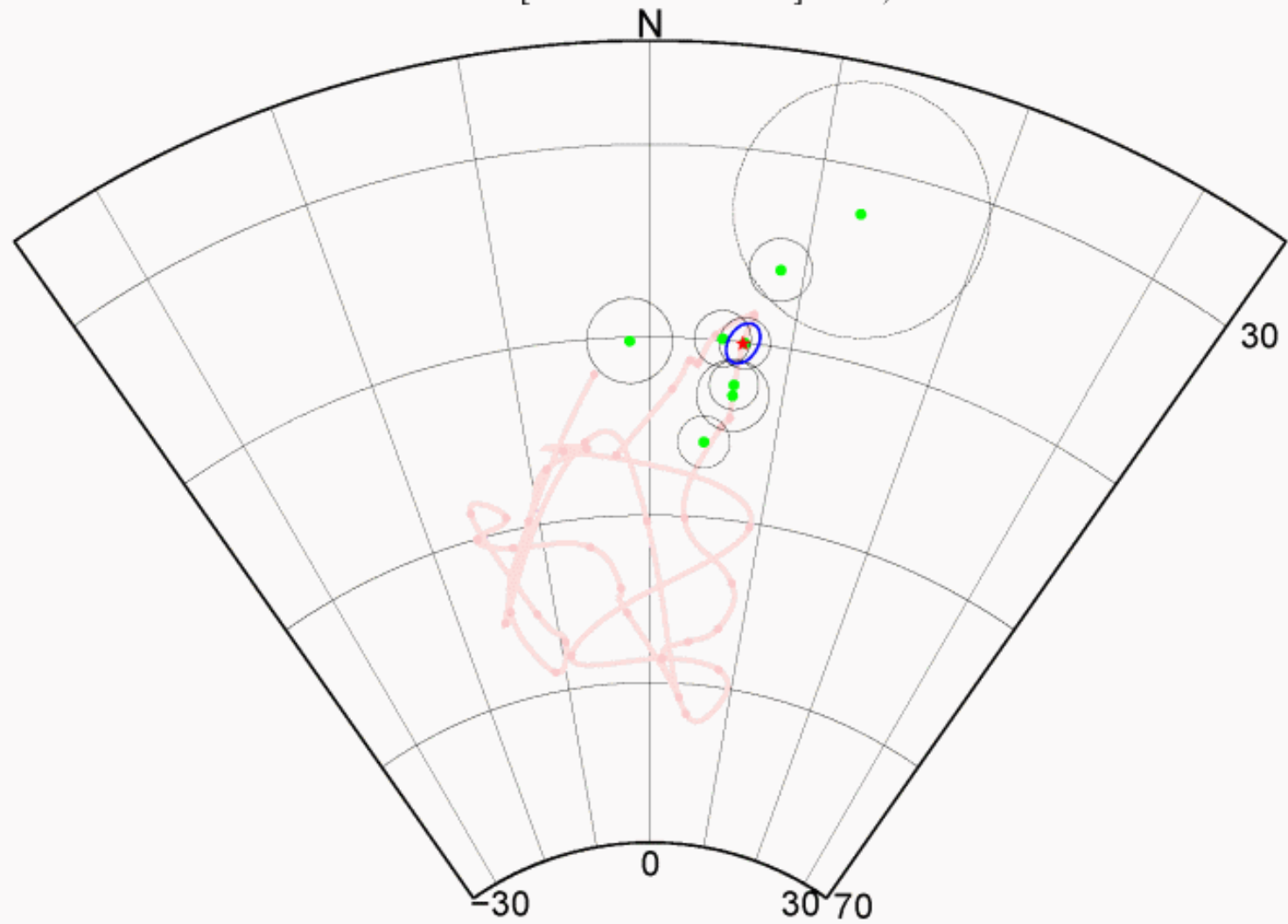
JAMADA 0.91 : [1425 - 1450 - 1474] Ns=4, Nd=60



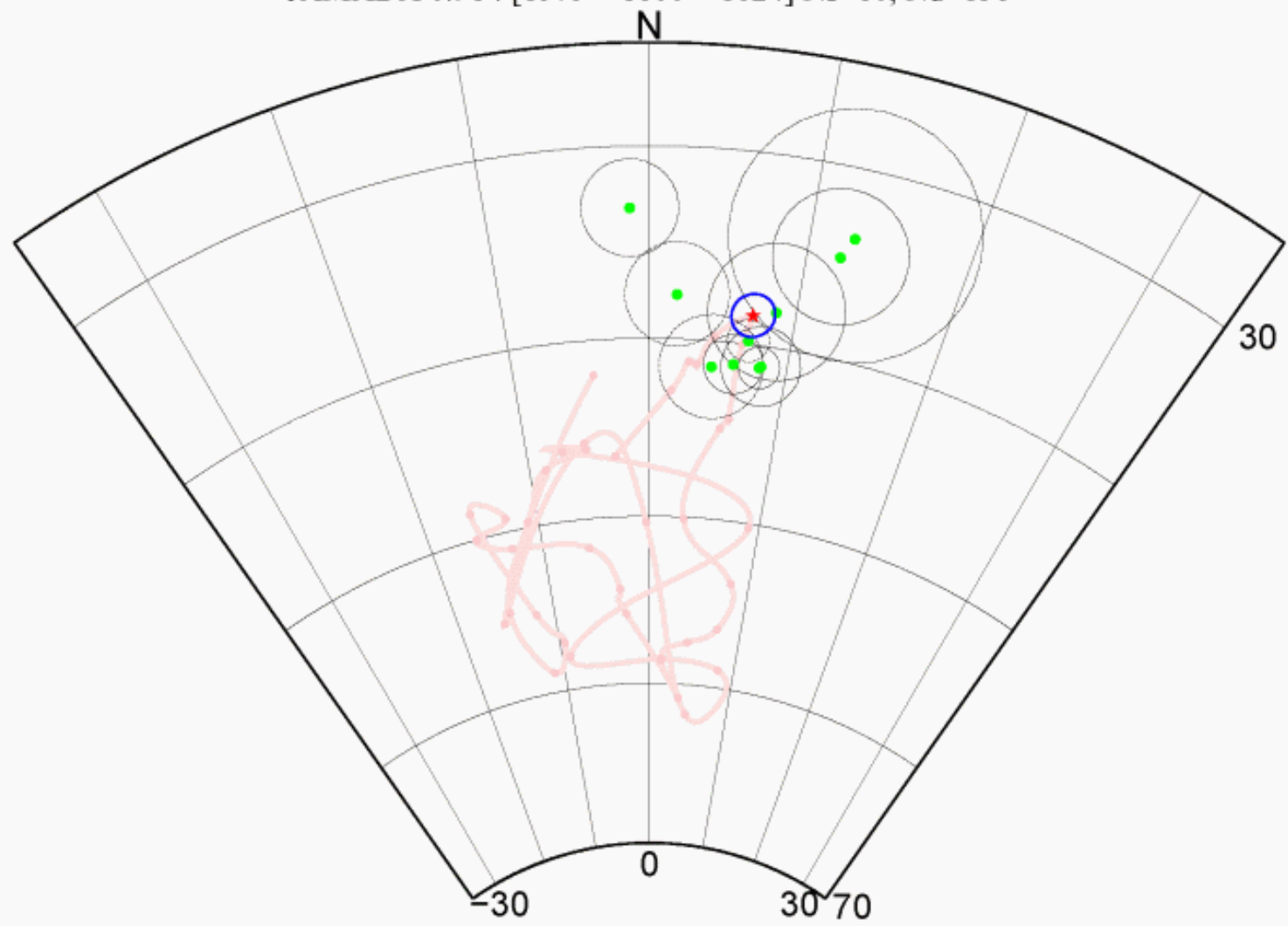
JAMADA 0.91 : [1475 - 1500 - 1524] Ns=1, Nd=10



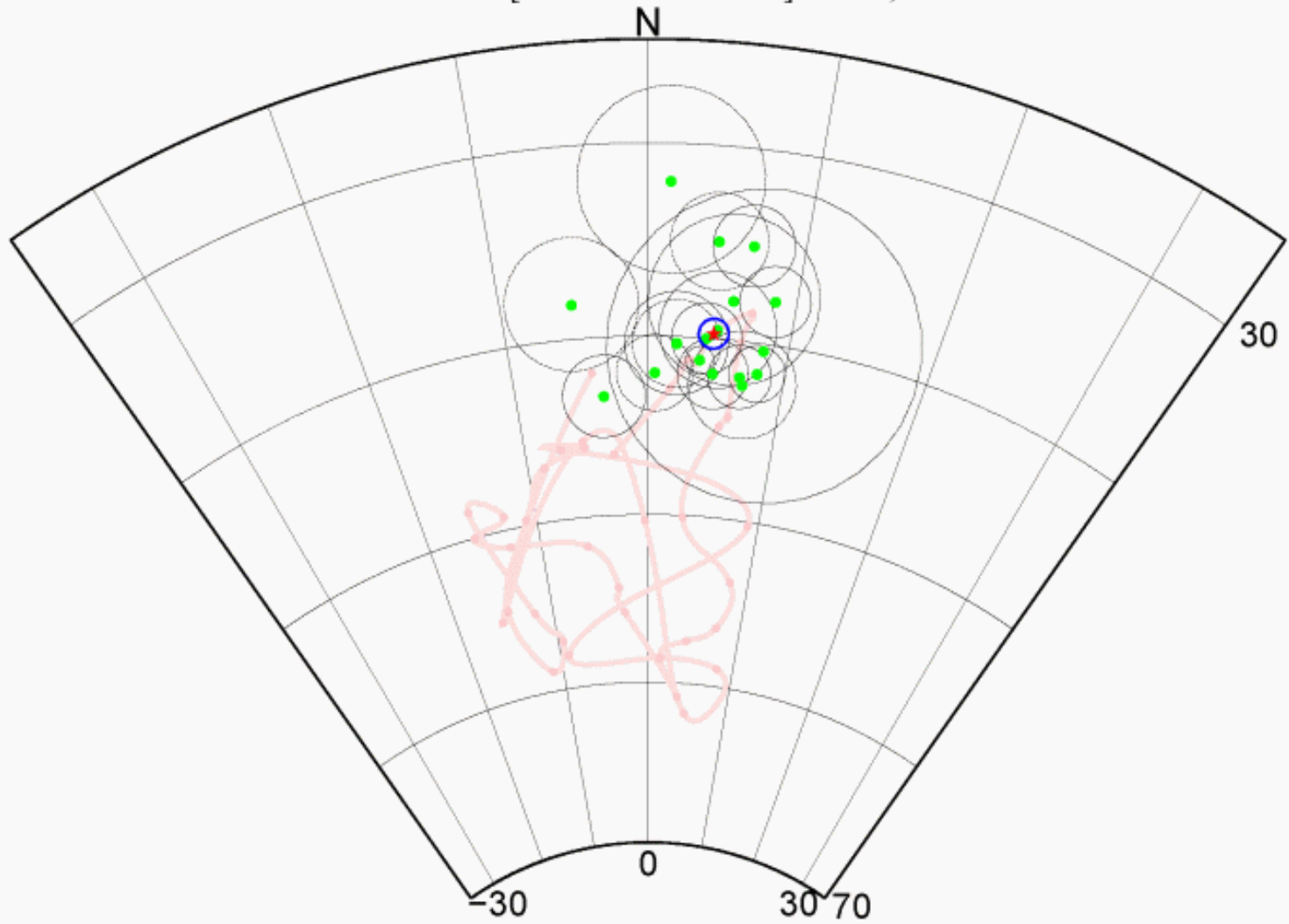
JAMADA 0.91 : [1525 - 1550 - 1574] N_s=8, N_d=127



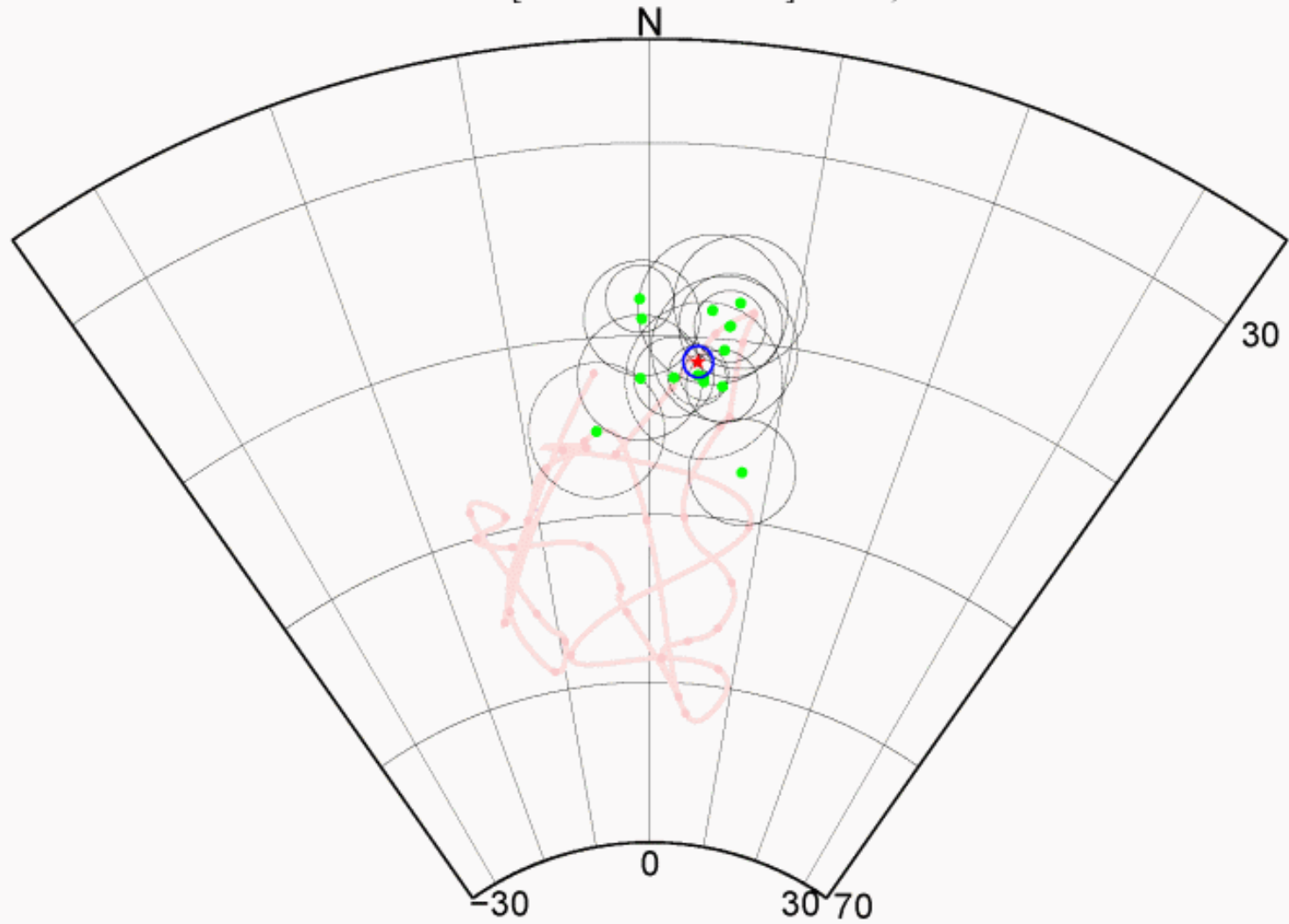
JAMADA 0.91 : [1575 - 1600 - 1624] Ns=10, Nd=138



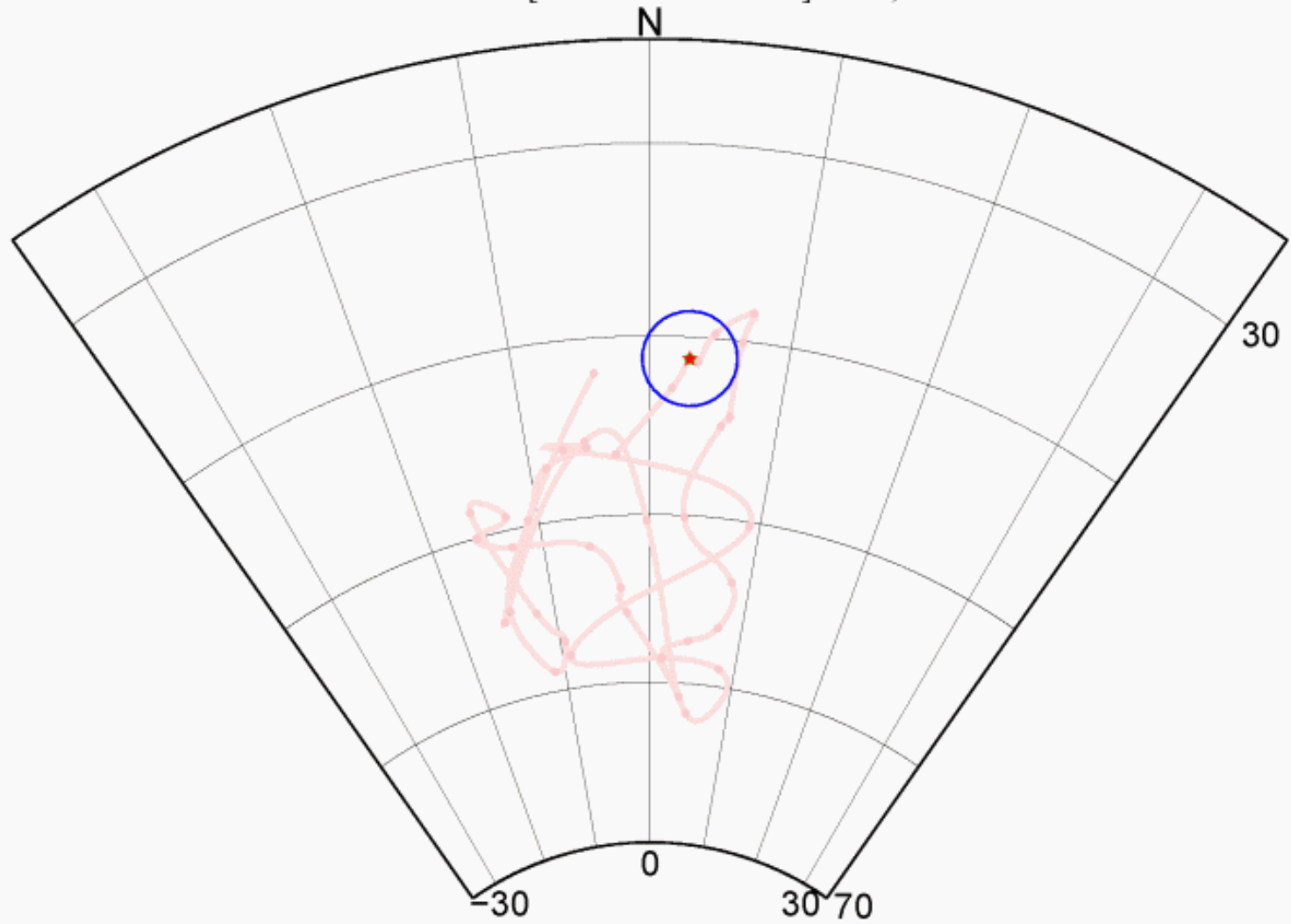
JAMADA 0.91 : [1625 - 1650 - 1674] Ns=18, Nd=279



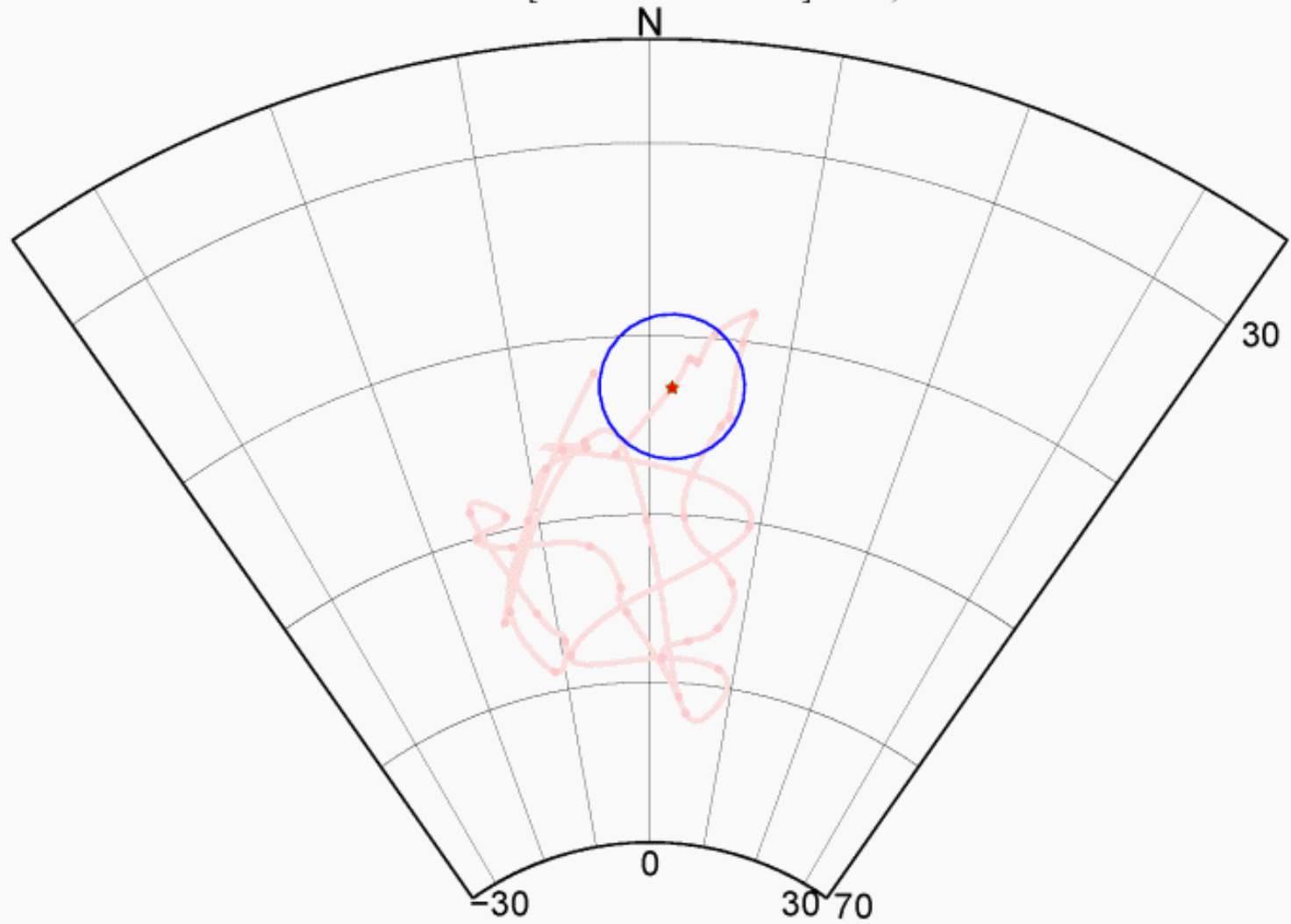
JAMADA 0.91 : [1675 - 1700 - 1724] Ns=15, Nd=202



JAMADA 0.91 : [1725 - 1750 - 1774] Ns=1, Nd=25



JAMADA 0.91 : [1775 - 1800 - 1824] Ns=1, Nd=11



JAMADA 0.91 : [1825 - 1850 - 1874] Ns=11, Nd=156

