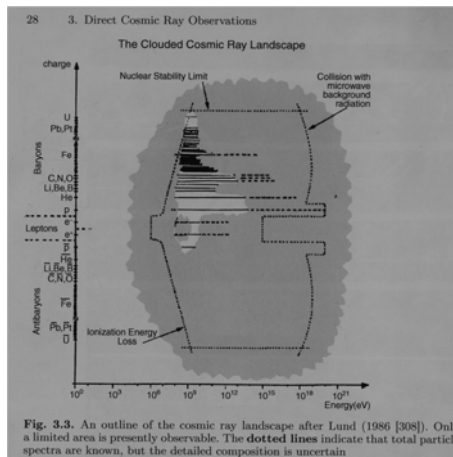


流星電波観測と宇宙線観測

伊代野 淳

岡山理科大学理学部基礎理学科

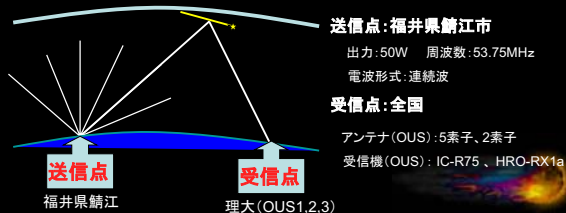


流星バーストの電波反射領域の計算

伊代野研究室
I01W004
梶原 廷巖

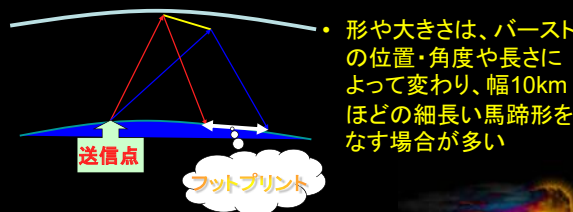
流星バーストと電波観測

- 塵が大気圏に突入すると、細長い円柱形の電離気体柱ができ、これを流星バーストという
- 送信点から出された電波は流星バーストに反射して、直接波の届かない受信点で観測することが出来る



フットプリント

- 一つの送信局からの電波が、一つの流星バーストによって反射されて届く領域をフットプリントという



フットプリントのシミュレーション

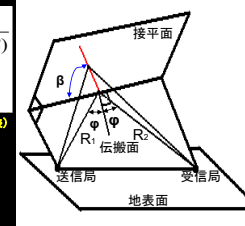
レーダー方程式

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2 q^2 \sin^2 \gamma r_e^2}{16\pi^2 (R_1 R_2) (R_1 + R_2) (1 - \sin^2 \phi \cos^2 \beta)}$$

$$\times \exp\left\{-\frac{8\pi^2 r_0^2}{\lambda^2 \sec^2 \phi}\right\} \exp\left\{-\frac{32\pi^2 D l}{\lambda^2 \sec^2 \phi}\right\}$$

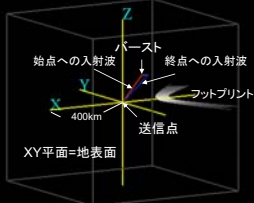
(Eshleman, V.R.6 1950年代初期発表)

位置関係



P_R : 受信電力 P_T : 送信電力 q : 飛跡中の線電子密度
 G_T, G_R : 送信、受信アンテナのゲイン λ : 電波の波長
 r_e : 電子の半径 ϕ : 飛跡への電波の入射(反射)角
 R_1, R_2 : 送信点反射点間距離、受信点反射点間距離
 β : 電波伝播面と飛跡のなす角 γ : 飛跡に入射する電界の方向と受信局の方向のなす角

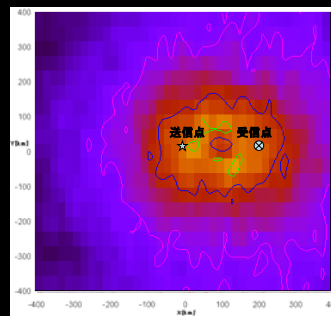
- 飛跡の平均の長さ: 15km
- 入射角度: 等方的
- 入射位置:
X、Y=±400km
Z=+120km の範囲



レーダー方程式における角度依存項、時間の項は入っていない。

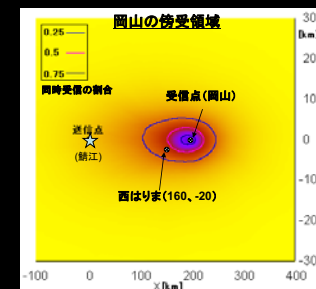
ホットスポット

- 受信された流星がどの位置に発生したのかを求めることができる。特に寄与の大きい部分(緑)をホットスポットと呼ぶ。



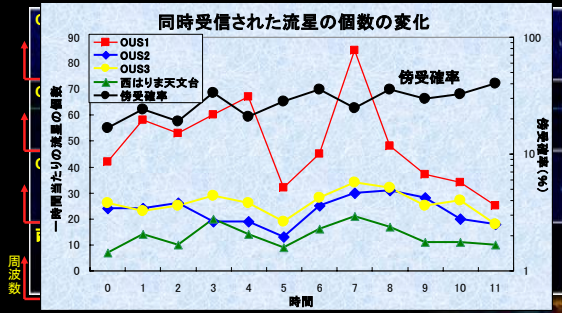
傍受領域

- 様々な位置に様々な角度で現れる流星バーストによるフットプリントを重ね合わせると、受信点の近傍に、同じフットプリントに入る確率の高い領域(傍受領域)を計算する事が出来る。



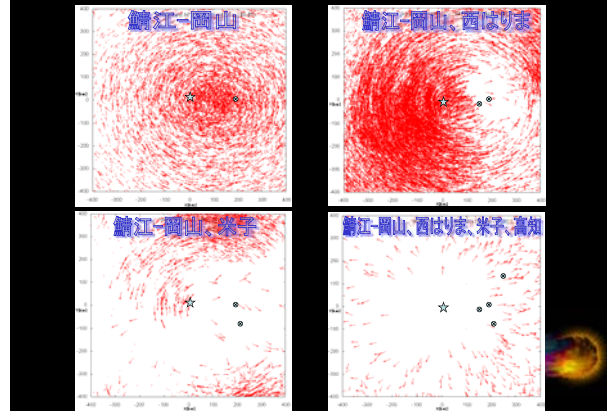
流星電波観測

2009/01/04 0時~2時 四分儀流星群



・シミュレーション
・観測による実験結果(1月14日0時~12時解析)

流星の軌跡



まとめ

- ・フットプリントのシミュレーションを行った。
 - ・時間の項を入れるとより現実的。
 - ・シミュレーションの範囲を広げた方がよい。
- ・シミュレーションの解析を行った(流星の軌跡等)。
- ・傍受領域の計算。
- ・ホットスポットの計算(両局の中心の左右に出来る)。

参考文献

- ・中村卓司、「流星電波観測ガイドブック」、2002
- ・福田 明、「流星バースト通信」、1997
- ・ZDENEK CEPLECHA and JIRI BOROVIKA, 「METEOR PHENOMENA AND BODIES」、1998

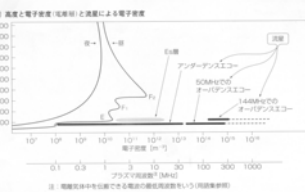
多地点流星電波観測システム開発とデータ解析

伊代野研究室

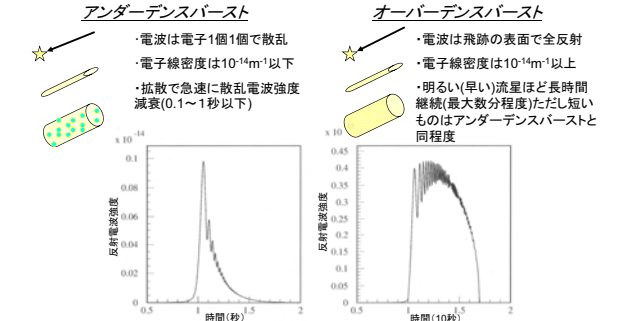
102Y024 塩根温子
102Y047 増田麻紀

流星バースト

- ・塵が大気圏に突入
 - 突入速度30から70km/s
- ・塵は摩擦熱で高温状態になる。
- ・塵分子が大気分子と衝突 → 大気をイオン化(電離)
- ・流星の経路上に電離柱を生成
 - 長さ10から20km
 - 高度80から120km上空
 - 持続時間は数分程度の場合もある。
- ・電離柱 = 流星バースト



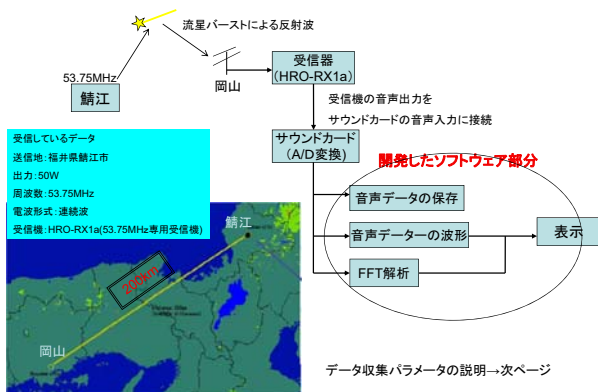
流星バースト(電離気体柱)の電子の線密度による電波反射の違い



本研究の目的

- ・持続時間数秒以下のアンダーデンスバーストの反射電波強度の観測
- ・時間精度0.1秒での多地点同時観測

システムの概要ーデータの保存とFFT解析



プログラムの概要1

- ・開発環境
 - Visual Studio .NET2003
 - C++言語
 - Win32API
- ・ファイル操作クラス
 - PGM class
 - ・メンバ: 音声データ、サンプリング情報、時刻情報
 - ・メソッド: ファイル読み込み、書き出し、ヘッダ解析
 - ・ファイルフォーマットは、PGM画像フォーマットと等価とした。
- ・FFTのためのクラス群
 - Complex Class
 - ・メンバ: 複素数型変数
 - ・メソッド: 複素数型の演算
 - BaseFFT class
 - ・FFTの基底クラス
 - ・メンバ: 演算に必要な変数
 - ComplexFFT class
 - ・BaseFFT classの派生クラス
 - ・メソッド: 複素FFT演算
- ・FFTに関連したプログラムは、DSPプログラミングにおける、三上直樹氏作成のプログラムを使用した。(Interface2004年2月号から連載)

プログラムの概要2

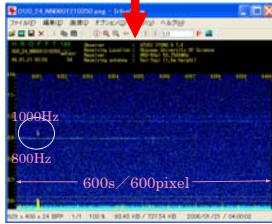
- ・WaveForm audio APIとダブルバッファリング
 - データの取り込みにはダブルバッファリングを採用している。
 - データの連続性を保つため
 - データを保存したバッファは、解析が終了するとバッファを更新し再利用している。
 - バッファサイズは 時間分解能 × データのサイズ × サンプリング周波数
 - $v_s=8000\text{Hz}$ $T_s=125\mu\text{s}$ $n\text{FFT}=1024$ でデータを保存した場合
- 取り込み開始

 - 取り込む音声データはBYTE型(0~255): 1Byte
 - 1つのバッファの録音中に、他方のバッファの処理が終わらない場合 → 多重バッファにする

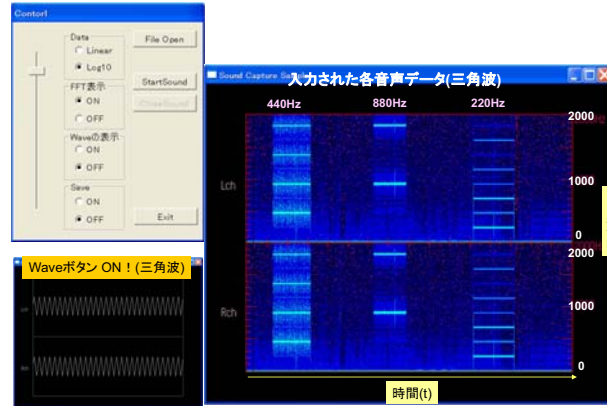
システム設定値

	開発したシステム		広く使用されているソフトウェア (HROFFT)
サンプリング周波数 (v_s)	8000Hz	44100Hz	8192Hz
サンプリング周期 (T_s)	125.0 μ s	22.7 μ s	122.1 μ s
FFT解析データ数	$2^{10} = 1024$	$2^{15} = 32768$	$2^{12} = 4096$
時間分解能 (T_0)	128ms	744ms	500ms
周波数分解能 (v_0)	7.81Hz	1.35Hz	2.00Hz

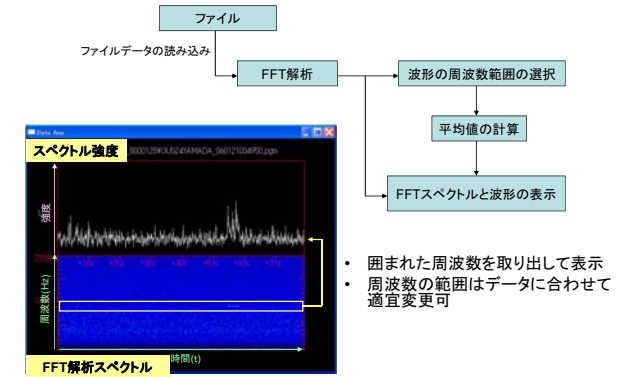
- 仕様
 - 時間分解能を0.1秒 (周波数分解能は低下する)
 - 最高サンプリング周波数による測定 (44.1kHz)も可能
- 開発したソフト
 - 音声スペクトルアナライザとして動作を確認し、校正を行った。



音声データ入力による動作確認

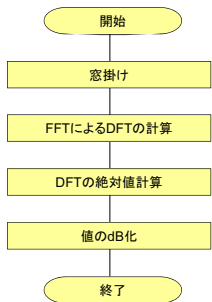


システム概要—FFT解析と波形データの表示



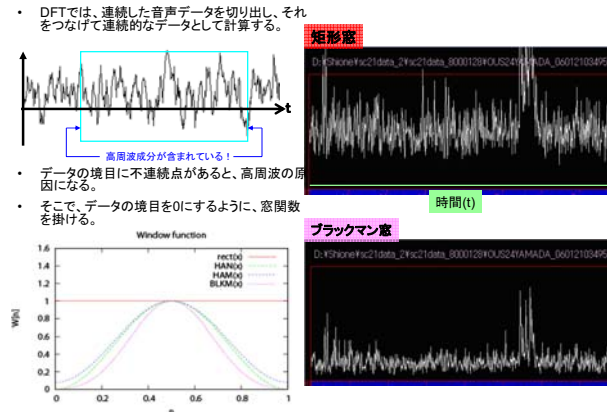
- 囲まれた周波数を取り出して表示
- 周波数の範囲はデータに合わせて適宜変更可

スペクトル解析の手順

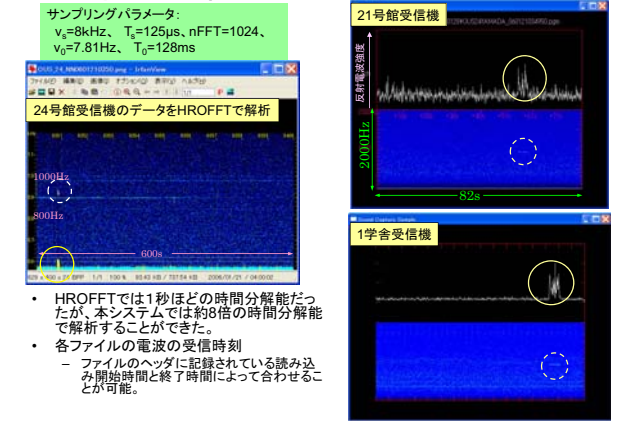


- 窓掛け
 - DFTのためのデータの切り出し時に出現する高周波成分の除去のために行う。
- FFT
 - DFT演算を高速に行うためのアルゴリズム。
- DFTの絶対値計算
 - 複素数で求めたFFTの結果を絶対値計算して表示する。
- dB化
 - 強度の弱い周波数成分を表示するために行う。

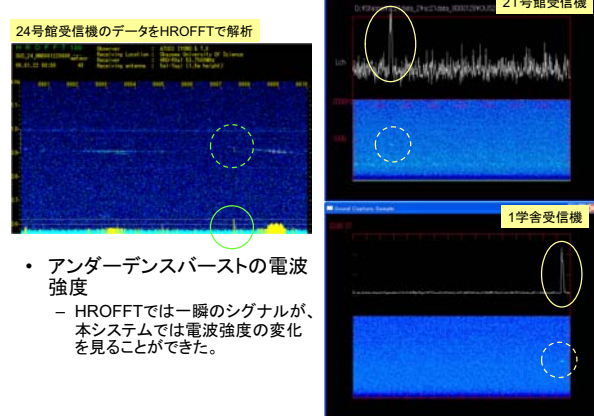
窓関数



解析結果1



解析結果2



まとめと今後の課題

- まとめ
 - 時間分解能が高いシステムを開発することができた。
 - 従来のシステム(HROFFT)よりも解析の精度が向上した。
 - 各パラメータを変更ができるシステムになった。
 - サンプリング周波数、時間分解能・周波数分解能を変更可能
 - 様々なデータに対応可能
 - 目的だったスペクトル強度の波形も表示できた。
- 今後の課題
 - 多地点観測データのより正確な時刻合わせ
 - GPSの電波などを用いる
 - データのトリガー
 - 44100Hz→1日で7GByte
 - 反射電波強度から得られる情報の考察

参考文献

- 流星バースト通信 福田明 著 1997
- 流星電波観測ハンドブック 中村卓司 監修 2002
- わかりやすいフーリエ解析 久保田一 著 1992
- C++によるDSPオブジェクトプログラミング三上直樹 著 (Interface 2004.2月より連載)
- プログラミング Windows95 Charles Petzold 著/エーピーラボ・長尾高弘 訳 1999

突発性天体現象と 流星電波観測

伊代野研究室
S06S040 坂手 恒平

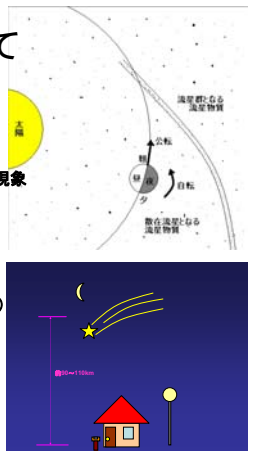
研究目的

宇宙には無数の塵が存在し、その塵は地球上に降り注いでいる。その量は、約40t/日であると考えられている。この塵の突入現象は、流星として眼視観測され、更にVHF帯の電波を用いることでも観測可能である。

本研究では流星を電波観測と眼視観測の2つの手法を用いて行う。主に流星群の観測において、電波、眼視観測の両面の整合性を求め、今回観測した流星群の規模を調べた。また、散在流星においては、流星の日周運動から流星物質の分布を調べた。

流星について

- 流星
 - 宇宙空間の塵が大気圏に突入し発光する現象
- 流星群
 - 主に彗星ダストトレール起源
- 散在流星
 - 地球軌道の上に漂う塵(夏季が多い、午前中)

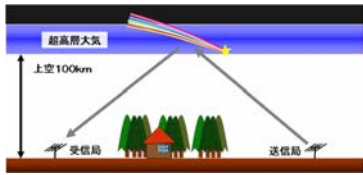


眼視観測

人間の視覚を用いて観測する方法

電波観測

流星が発光したときに、その飛跡には電離柱が出来る
それに反射された電波を観測する方法



観測装置

福井県鯖江市の福井高専前田研究室から送信されている
53.75MHzの連続波を受信するための装置

	1学舎	21号館	24号館
アンテナ	5素子八木	2素子八木	5素子八木
受信機	HRO-RX1a	ICOM IC-R75	ICOM IC-R75



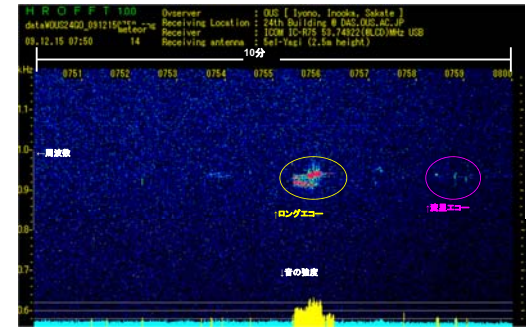
←24号館設置アンテナ

ICOM IC-R75受信機→



HROFFTの出力画像

縦軸:周波数(Hz) 横軸:時間(10分間)



meteor-echo-counter

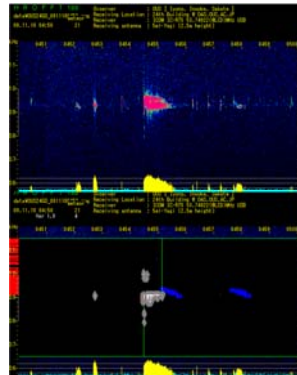
(高知工科大学 山本真行氏が開発)

HROFFT出力画像の流星エコーを自動計数する画像処理ソフトウェア



処理結果画像

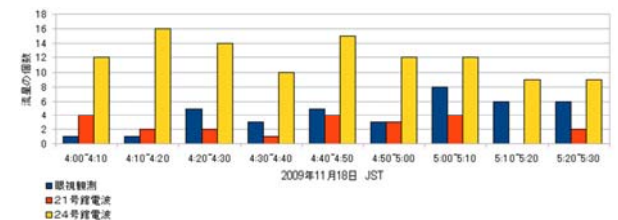
しし座流星群の眼視観測と電波観測



眼視観測と電波観測において
同時刻に観測されたロングエコー
のHROFFT出力画像とmeteor-
echo-counter処理画像

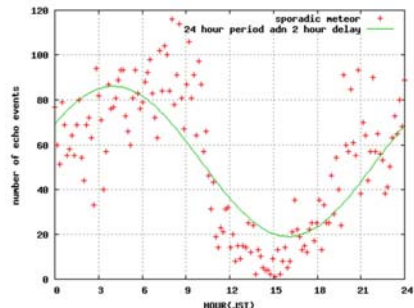
観測時間
09/11/18 04:00~05:30 JST

しし座流星群の眼視観測と電波観測



眼視観測と電波観測で得られた流星の個数

日周変化



流星数の日周変化。流星数は、流星群期間外の10分間ごとの流星数を全観測装置に関して足し合わせている。

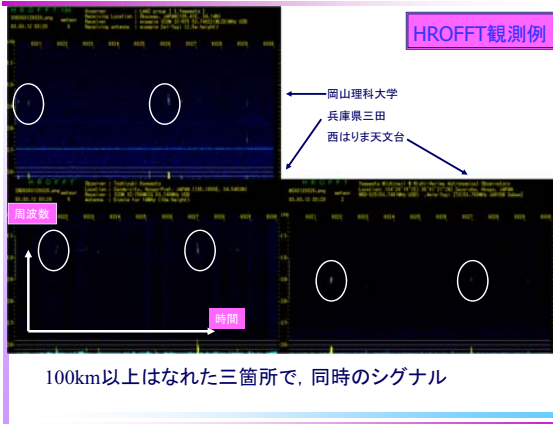
極大値: 120個/10分/30日=0.4個/分 極大位置: 午前9時頃
極小値: 5個/10分/30日=0.017個/分 極小位置: 午後3時(15時)頃
(周期: 24時間を仮定) 位相遅れ: -2時間

まとめ

- 流星の電波観測用の装置を3台設置した。
- 眼視観測と電波観測の両面から同一と考えられる流星を同定した。
- 流星群期間外の流星から流星の日周変化を確認した。
- 電波観測では、各観測地点で得られたデータに大きな差が生じた。この原因はノイズの干渉ならびにアンテナの違いに起因すると考えられる。

流星電波観測の宇宙線空気シャワー観測への応用(可能性) [2003年4月16日伊代野]

<p>流星電離柱(飛跡)の生成</p> <ul style="list-style-type: none"> 高度100km付近, 突入速度: 10km/s~70km/s 流星物質(0.1g~10g)と大気分子の衝突によってプラズマ生成→発光→眼視観測 プラズマ中の自由電子が電波散乱(超短波) 流星飛跡: 幅10cm~数十m, 長さ10~15km 線電子密度によって2種類の散乱状態 <ul style="list-style-type: none"> アンダーデンス 10^{14}個m^{-2}以下 オーバーデンス 10^{14}個m^{-2}以上 電波: 超短波50MHzのHAM(研究用)を使う。 <ul style="list-style-type: none"> 福井県鯖江市工専の前川氏がビーコン波を50Wで送出 <p>研究グループ</p> <ul style="list-style-type: none"> HRO project: アマチュア無線の人たち(天文学会のジュニアセッション) 京大MULレーダー施設: 大気物理の研究に流星のエコーを使う 流星バースト通信: エコーを使って見通し距離外への通信を行う 近郊では: (ネットでHROで検索)→多地点で同時観測 <ul style="list-style-type: none"> 西はりま天文台, 神戸三田, 玉野市, 広島, 京都産業大学天文部, 岡山県立朝日高校物理部, みさと天文台など 	<p>参考文献</p> <ul style="list-style-type: none"> ☆O出版: 流星電波観測ガイドブック 中村卓司監修 ☆Astroparticlephysics 2001 P.Gorham, "On the possibility of radar echo detection of UHECR and v induced EAS" ☆RADHEP2000, T.Vinogradova他 Proposed experiment to detect AS with the Jiecaruar radar system <p>HRO観測機器</p> <ul style="list-style-type: none"> ☆アンテナ50MHz用 ☆受信機(HAM用または専用受信機アイトゥ電子研究所) ☆PC(サウンド録音をA/D変換機に使用) ☆ソフト: HROFFT
---	--



レーダー式宇宙線空気シャワー観測装置の概念図

宇宙線観測で測定すべき物理量

- 最大発達地点 (Xm, Ym, Zm)
- 入射角度 (天頂角度, 方位角度)
- 入射エネルギー E0
- エネルギー損失量 dE/dx

例えば、三箇所のレーダー観測設備(電波の送受信が可能):

- 各ステーションでの反射の強さ
- その他のステーションからの反射の強さ
- なるべくたくさんのアンテナで観測して, SNを良くする。
- ステーションの間は10km程度
- アンテナは10メートル範囲に設置
- 予想される頻度:
 - ~20 km @ 10¹⁹ eV, 10 per day
 - ~60 km @ 10²⁰ eV, 2 per day
- 経費: ステーションあたり2000万円

議論点:

- 配置の最適化
- 直接波の除去
- 巨大な設置空間の確保

P.Gorhamの論文での提案

宇宙線空気シャワー観測装置と連携したレーダー反射観測装置の概念図

Issues:

- 電離状態の継続時間
- RF(radio frequency)の他の装置からの干渉

Advantages:

- 宇宙線の高精度位置情報
- 大気の状態に依存しない?
- 横向きシャワーに最適 (ニュートリノの観測)

P.Gorhamの論文での提案

LAASにおけるRadarの役割

- LAASのEAS-arrayとしての拡張
 - Scintiの台数を増す。→ビルディングサイズアレイでは、十数台が限界
 - アレイの大きさ→数十メートル規模が限界
- LAAS/OU-OSU multiple array concept
 - Baseline :100 m to 1000 m / OU-OSU
 - Baseline :up to several km /OU-OSU-OSU
 - Simultaneous detection of the peripheral of large EAS. Detection rates depend on EAS size.
- Energy spectrum measurement
- Issues for Energy spectrum measurement
 - Lack of information on
 - Core position, the number of EAS particles, e/muon ratio
- Radar detection of EAS would provide the information on
 - Core position, Xmax or something
- 詳細な定量的議論
 - P.Gorhamらの論文で, EASと流星電離柱の比較

Simultaneous, parallel and multiple EAS events due to the Gerasimova-Zatsepin effect in LAAS experiments

(Large Area Air Shower)

A. Iyono¹, H. Matsumoto¹, K. Okei², S. Tsuji², S. Ohara³, N. Ochi⁴, T. Konishi⁵, N. Takahashi⁶, I. Yamamoto¹, T. Nakatsuka⁷, T. Nakamura⁸, N. Ohmori⁹ and K. Saitho⁹

- Okayama University of Science, Okayama 700-0005, Japan e-mail: iyono@das.ous.ac.jp
- Kawasaki Medical School, Kurashiki 701-0192, Japan
- Nara University of Industry, Nara 636-8503, Japan
- Yonago National College of Technology, Tottori 683-8502, Japan
- Kinki University, Osaka 577-8502, Japan
- Hiroasaki University, Hiroasaki 036-8561
- Okayama Shoka University, Okayama 700-86011
- Kochi University, Kochi 780-8520
- Ashikaga Institute of Technology, Ashikaga 326-8558, Japan

The photodisintegration of cosmic ray nuclei by Solar photons
⇒ proposed by Gerasimova, Zatsepin in 51's,60's
as an alternative way to determine UHECR mass composition.

- Processes
 - Cosmic ray heavy nuclei above 10¹⁷eV and solar photons(~1eV)
 - at the rest frame of nuclei, photon energy be Lorentz-boosted to1eMeV
 - Fragment nuclei (Z/A=0.5),proton (Z/A=1),neutron(Z/A=0)
 - traveling towards the Earth and deflected by the interplanetary magnetic field
 - resulting deflections depend on their rigidities
 - At the Earth
 - Multiple and simultaneous EASs observed in the very large area
- Experimental tasks
 - large SQT, time synchronization(μs with GPS), angular resolution
 - Low threshold energy for detectors because of fragment originated EASs
 - Energy resolution required to estimate the energies of primary particles

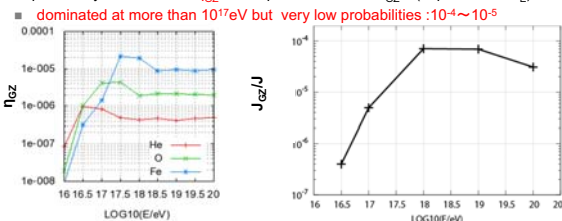
Numerical approaches to estimate GZ event rates.

- assumptions
 - Trajectories of fragments in Solar system magnetic fields (Akasofu-Grey-Lee) from 5AU towards the Earth → 10⁸ AU step with the correction of the field strength.
 - Primary elements : Iron nuclei, Oxygen, He
 - Photodisintegration cross section (Epele et al.)
 - Energy: 10¹⁶~10²⁰eV
 - Energy spectrum

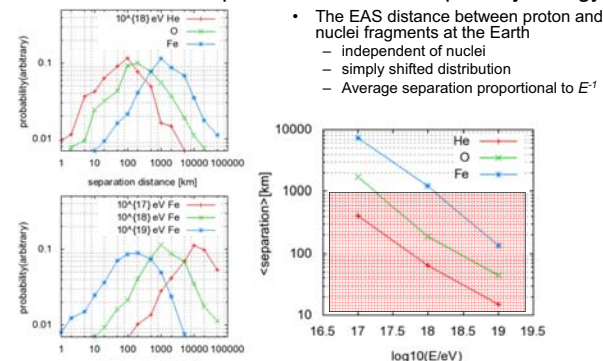
$$J(E) = \sum_i J_i(E) \quad J_i(E) = J_{0,i} \left[\frac{E}{E_0} \right]^{\gamma_i} \left[1 + \left(\frac{E}{E_p Z} \right)^{\eta} \right]^{-\gamma_i}$$

$$E_0 = 10^{12} \text{ eV} \quad E_p = 4.5 \times 10^{15} \text{ eV} \quad \gamma_1 = 1.9 \quad \gamma_2 = 1.1 \quad \text{Horandel(2003)}$$

- GSL were used in numerical integration this time.
- Results:
 - the probability of GZ events η_{GZ} and expected flux ratio J_{GZ}/J (separation < 2R_E)

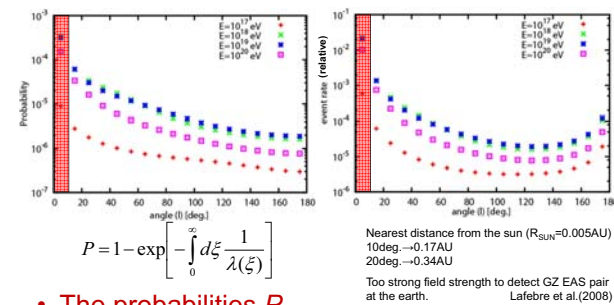


Numerical result : separation distance vs. primary energy



Typical <separation> ~ LAAS experiments
 Fe primary 10¹⁸eV ⇒ 1200km 10¹⁹eV ⇒ 150km

The correlation of solar direction of fragmentation probabilities Kanai,Fujiwara(2004)



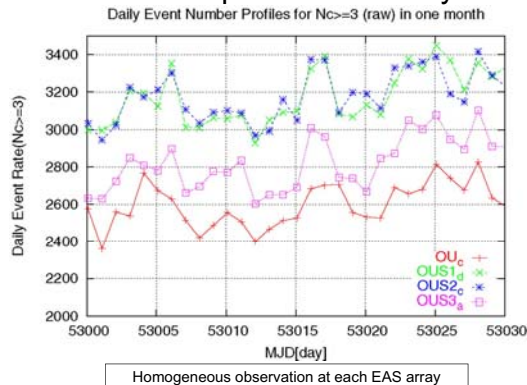
- The probabilities P
 - Enhanced at day-side and night-side

Experimental Setup of LAAS projects:
 8 sets of compact EAS array were deployed in Japan.

- The baseline of arrays from 0.1km to 1000km
- Typically, 8 plastic scintillation counters (50cm x 50cm x 5cm)
- 300 to 400 m² EAS array size at the flat roof in each campus.
- TDC signals for EAS angle determinations
- angular resolution ~7degree
- GPS maintained 10MHz UTC timestamp system (time resolution ~1 μs)

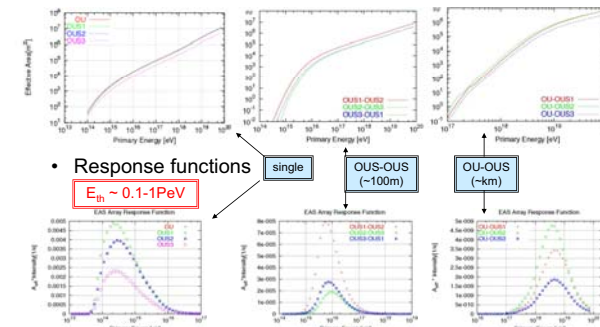
Institute name	Latitude (N)	Longitude (E)	Distance from HU (km)
Hirosaki Univ.	40° 35'	140° 29'	-----
Kinki Univ.	34° 39'	135° 36'	786.8
Nara Univ. of Industry	34° 35'	135° 41'	787.9
Okayama Univ.	34° 41'	133° 55'	872.7
Okayama Univ. of Science	34° 42'	133° 56'	871.6

Event rate profiles at 4 arrays



Simulation: primary energy regions

- Effective Area dependences for single array, OUS123 combinations and OU-OUS123 combinations.



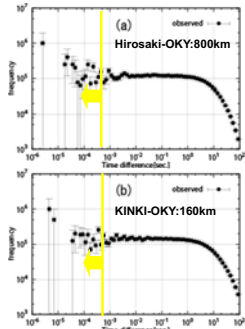
Data Analyses

to search for the intensity anisotropy and simultaneous and parallel EAS events such as GZ effects

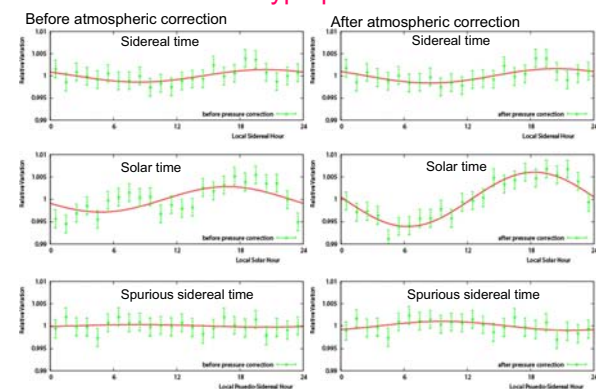
- Period for both analyses
 - 1996/Sep (2 arrays) -2007/Jan(9 arrays)
 - 65M events

FOR GZ analysis

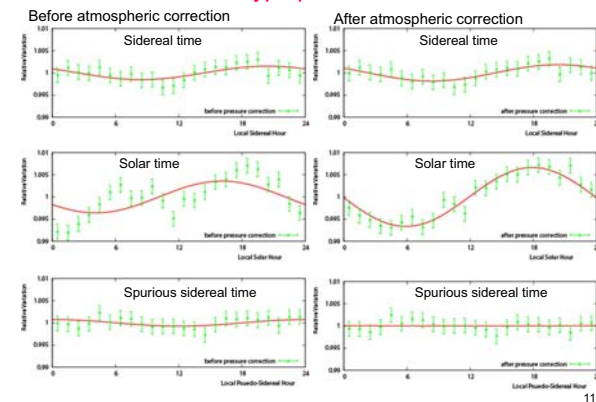
- Event selection criteria
 - E_{threshold} > 5 PeV (> 5 coincidence)
 - Baseline combinations
 - more than 100km
 - Hirosaki U.-Okayama U. 800km
 - Hirosaki U.-Nara U and Kinki U. 700km
 - Okayama -Nara U and Kinki U. 150km
- EAS arrival time difference (T.D.)
 - within 5 millisecond due to geographical features (considering separation elongation factor pointed out by Lafebre et al. 2008)
- EAS angular distance (A.D.)
 - within 15 degree (typical angular resolution of arrays :7degree)



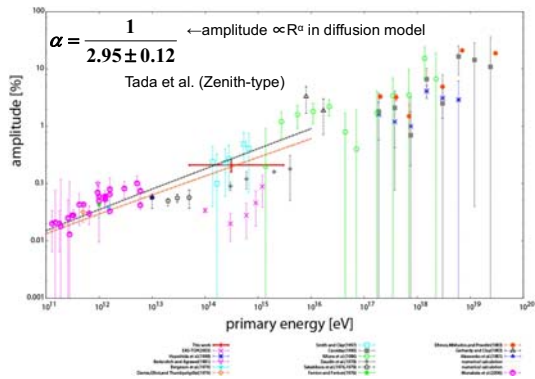
Results on the anisotropy analysis in case of track-type plot



Results on the anisotropy analysis in case of zenith-type plot

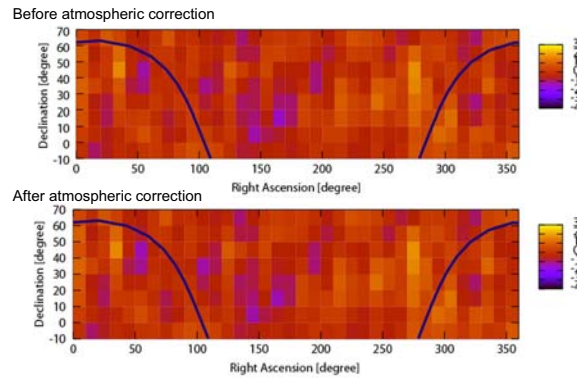


Comparisons with diffusive propagation model



12

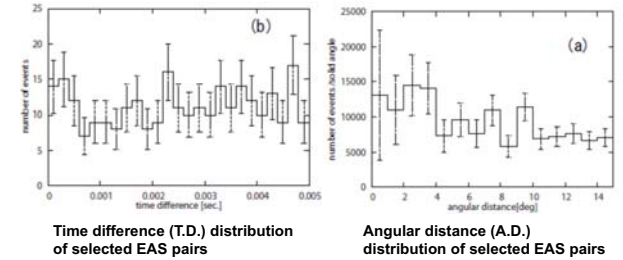
Anisotropy map in celestial coordinate



13

Experimental results

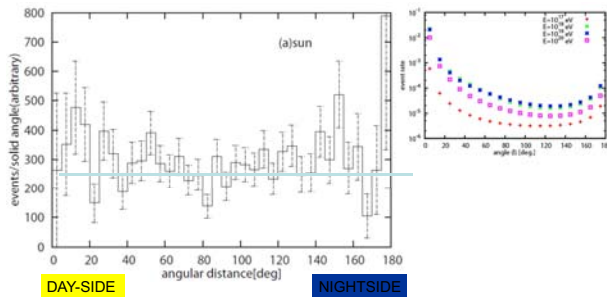
- 287EAS pairs were selected among 65M events
 - within T.D. <5ms and A.D.<15deg



14

Angular distance correlation to the Sun

- 287 pairs → 574 EASs
 - head-on collision of photon with nuclei in day-side and night-side
 - In the direction near the Sun, trajectory deviation became large to be detected. (Lafebre 2008)



15

Poster ID: P-401

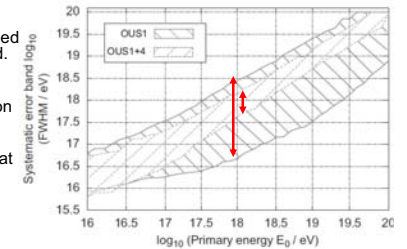
Conclusions

- Numerical calculation have been performed for LAAS experimental setting.
- LAAS data from up to Jan. 2007 have been analyzed.
 - Conventional anisotropy analyses have been carried out in term of zenith-type and track-type methods.
 - GZ candidates defined as T.D.<5millisecond and A.D.<15degree
 - 287 EAS pairs were selected and analyzed for the correlation of arrival direction to the Sun.
 - T.D and A.D. distributions themselves were uniform.
 - Their were no significant GZ event enhancement in the day-side and night-side direction. The distribution still seems to be uniform, instead of GZ effect indeed.
 - Energy estimation for each EAS were not completed because of restricted array size.
- Plan
 - The new EAS array(OUS5) in Okayama Univ. of Science(2.5km distance form our campus) have started observing EAS events from Dec/2009.
 - Linsley's EAS time structure methods for EAS energy estimation with compact arrays have been implemented for LAAS EAS arrays

16

Linsley's EAS time structure method

- $E > 10^{16}$ eV
 - EAS core position can not be determined by lateral structure analysis with small array(20m x 20m).
 - The outskirts of EAS will be hit to the EAS array.
 - Linsley predicted the relation between core distance r and EAS thickness α empirically.
 - The EAS thickness measurement system were installed.
- Status
 - OUS1 array maintained with Linsley's method.
 - OUS4 array were implemented with zenith angle restriction system.
 - OUS5 array started observation, located at 2.5 km distance from the OUS campus.



17