

北海道SuperDARNレーダーで観測された 流星エコーによる超高層大気変動の研究

Study of upper atmosphere dynamics using meteor
echoes observed by the SuperDARN Hokkaido radar

窄山 勝也^[1]、西谷 望^[1]、行松 彰^[2]、堤 雅基^[2]

[1] 名古屋大学太陽地球環境研究所

[2] 国立極地研究所

概要

- ・流星痕(meteor trail)は高度70 – 110kmで形成され、中性風によって移動する。

⇒流星エコーから中性風の速度の高度分布が得られる。

- ・北海道SuperDARNレーダーの観測データから流星エコーを抽出し、抽出されたエコーのレンジ、ドップラー速度、干渉計データから、中性風の速度の高度分布を推定する。

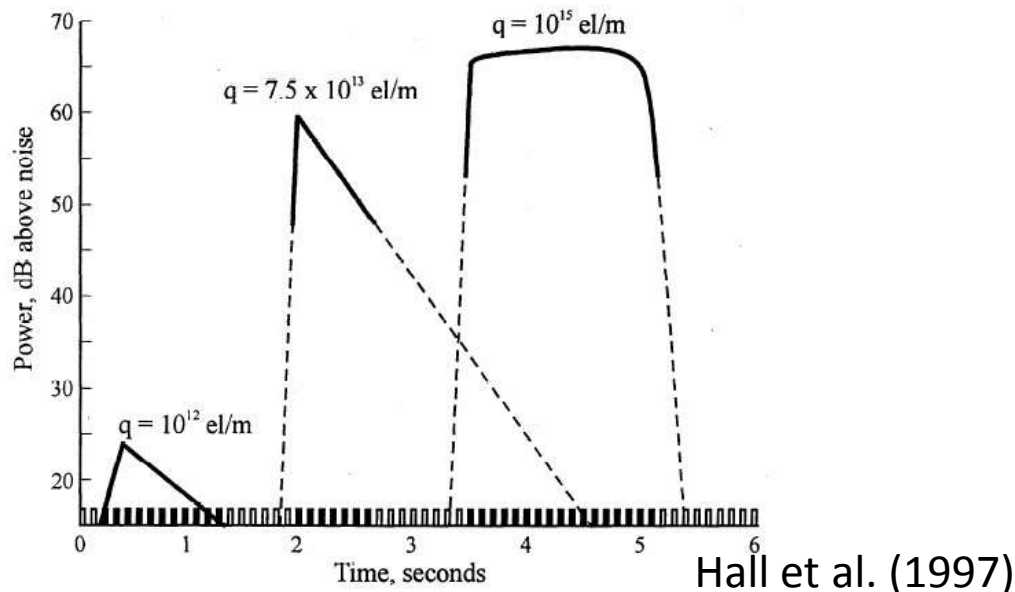
- ・SuperDARNレーダーを流星レーダーとして運用するためのプログラムの完成を目指す。

Meteor echoes

高度70~110km (mesosphere~lower thermosphere) で流星により電離した領域 (流星痕・meteor trail) が電波を反射したエコー

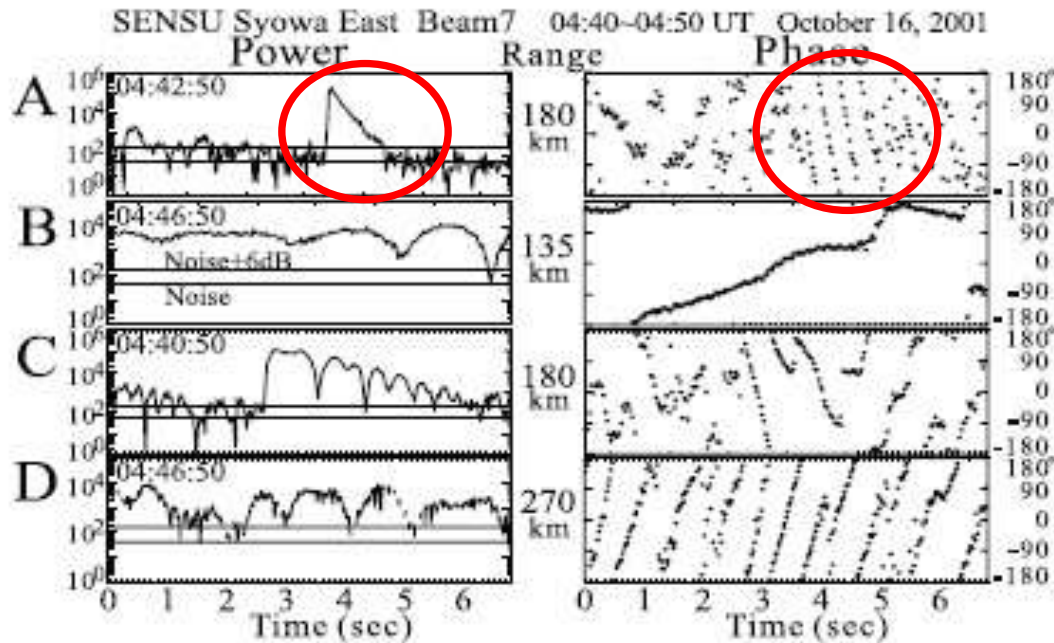
流星エコーは、流星痕の電子密度で2種類に分類される

- Overdense echo ($> 10^{14} \text{ m}^{-3}$) : 電子密度の変化が電波を全反射
- Underdense echo ($< 10^{14} \text{ m}^{-3}$) : 個々の自由電子が電波を反射

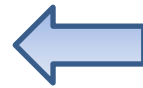


Underdense echoは、その高度の中性風を反映するため、中性風の推定に利用できる。

Underdense echoの判別方法



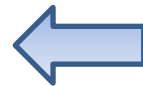
Power : S/N比 8dB以上
指数関数的に減少



$$P_r(t) = P_r(0) \exp\left(-\frac{32\pi D}{\lambda^2} t\right)$$

$$(D = 6.39 \times 10^{-2} K T^2 / p)$$

Phase : 単調減少もしくは単調増加



ドップラー速度は一定

Duration : the order of 0.1~1 [s] , longer than 5 pulse sequences

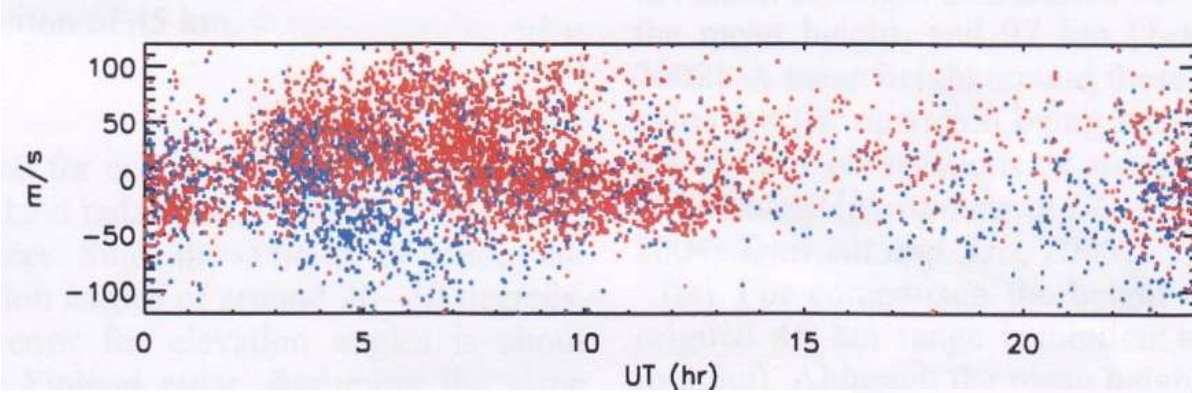
(1 sequence = 0.1s)

Yukimatu and Tsutsumi (2002)

SuperDARNによる流星風観測の先行研究

Tsutsumi et al. (2009)

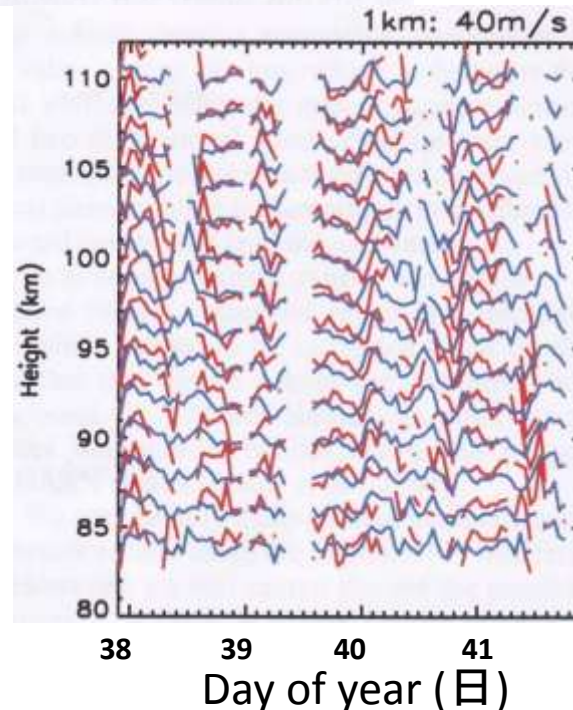
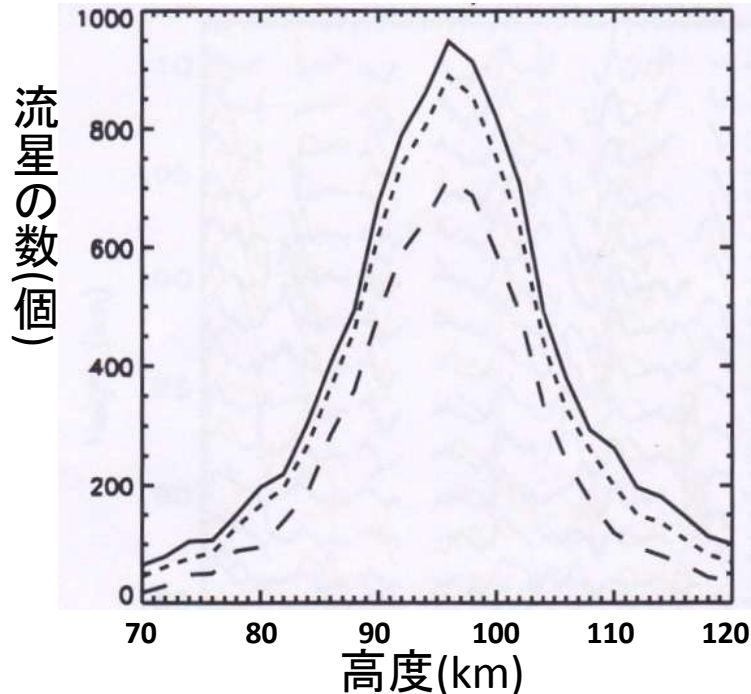
Iceland East/Finland SuperDARNレーダーを用いて流星エコーの観測を行い、その分布から中性風の速度の高度分布を推定した。



(上) アイスランドレーダーによる中性風視線方向速度の1日の変化

(下・左) 推定された高度分布

(下・右) フィンランドレーダーで推定された中性風の水平速度の高度-時間分布



高度(km)

Eastward /
Northward

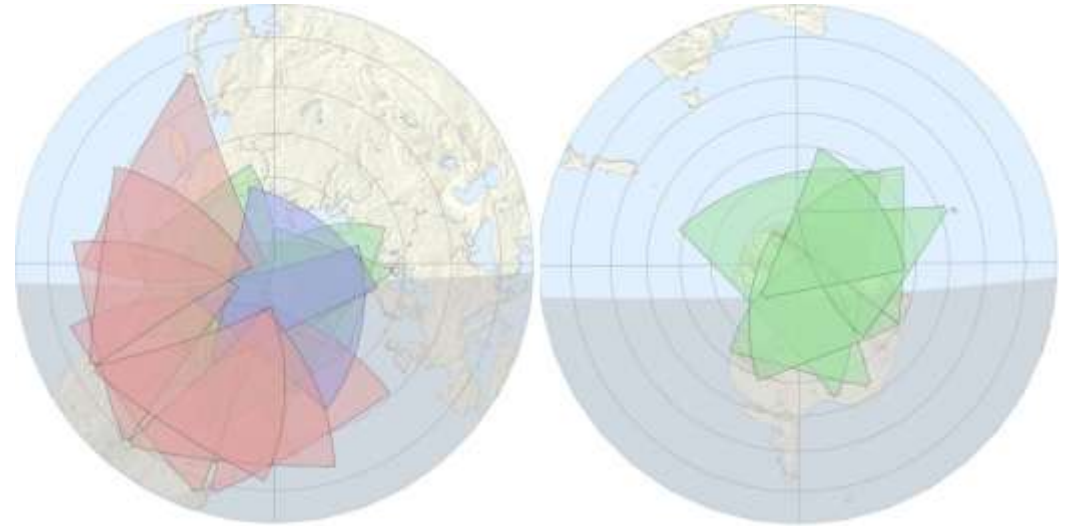
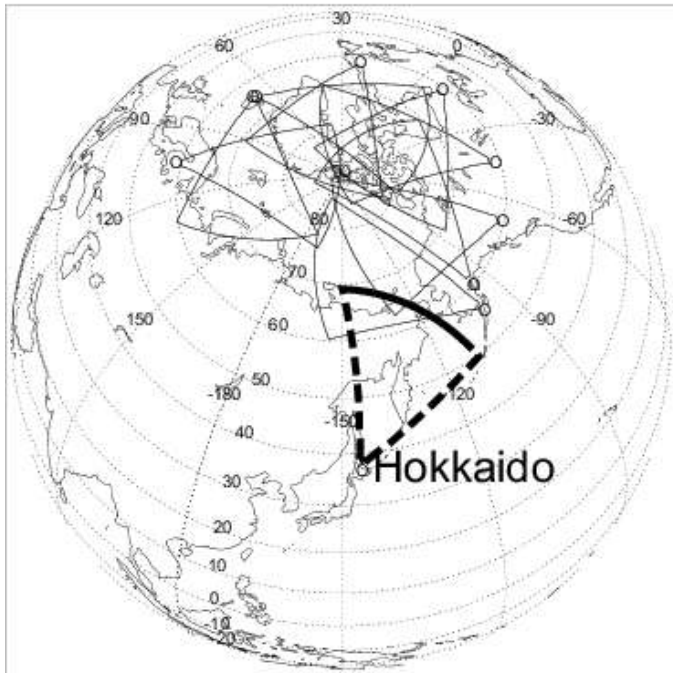
北海道-陸別HFレーダー

2006年11月より稼働

北緯 43.53° , 東経 143.61° (地理座標系)

緯度 36.46° , 経度 -145.34° (地磁気座標系)

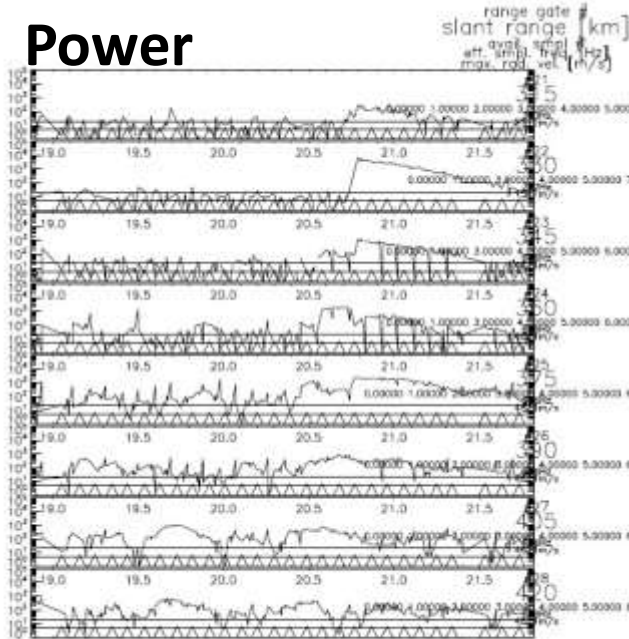
北半球のSuperDARNレーダーでは
もっとも南に位置し、他のSuperDARN
レーダーでは不可能な中緯度領域
(地磁気緯度 $40\sim 60^{\circ}$)の観測が可能。



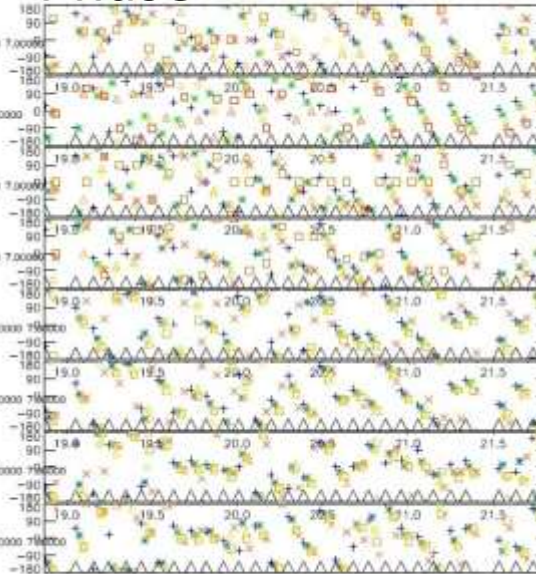
図および解説の出典: SuperDARN 北海道-陸別HFレーダー HP
SuperDARN JHU/APL

中性風の水平速度および高度の推定方法

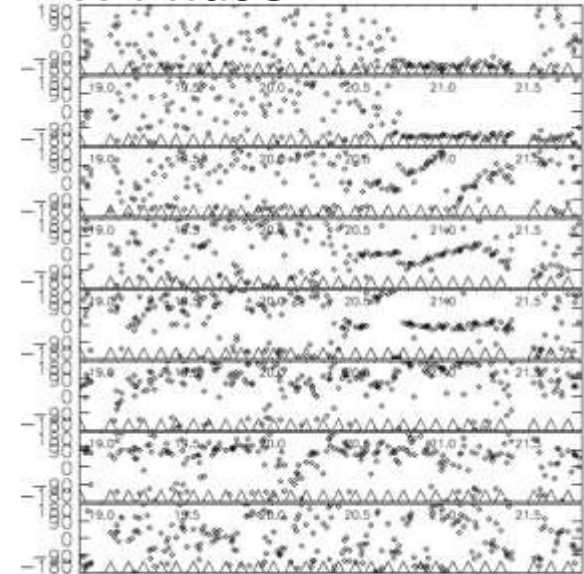
Power



Phase



X-Phase



19.0 19.5 20.0 20.5 21.0 21.5

19.0 19.5 20.0 20.5 21.0 21.5

19.0 19.5 20.0 20.5 21.0 21.5

Range

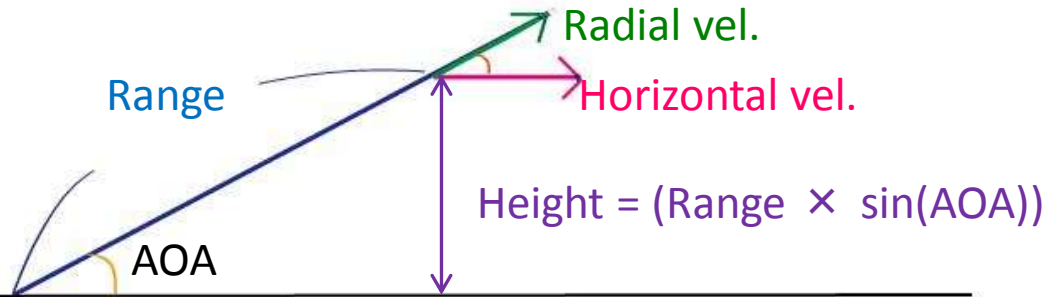
流星エコーが存在するレンジを特定

(Radial) Doppler Vel

送信 - 受信電波の位相差の変化から、視線方向のドップラー速度を推定

Angle of Arrival (AOA)

メインアレイ - サブアレイの位相差から、到来角を推定する



経路差 =

$$((X\text{-Phase}) + 2n\pi) * \lambda / 2\pi = d * \cos(AOA)$$

観測データ(.iqdat)



TMS形式(.tms)

変換: iq2tms.c

2011/08～

15km mode: 6日/月

45km mode: 残り

読込:

tms_read_xxx.pro

プロット:

tms_plot.pro

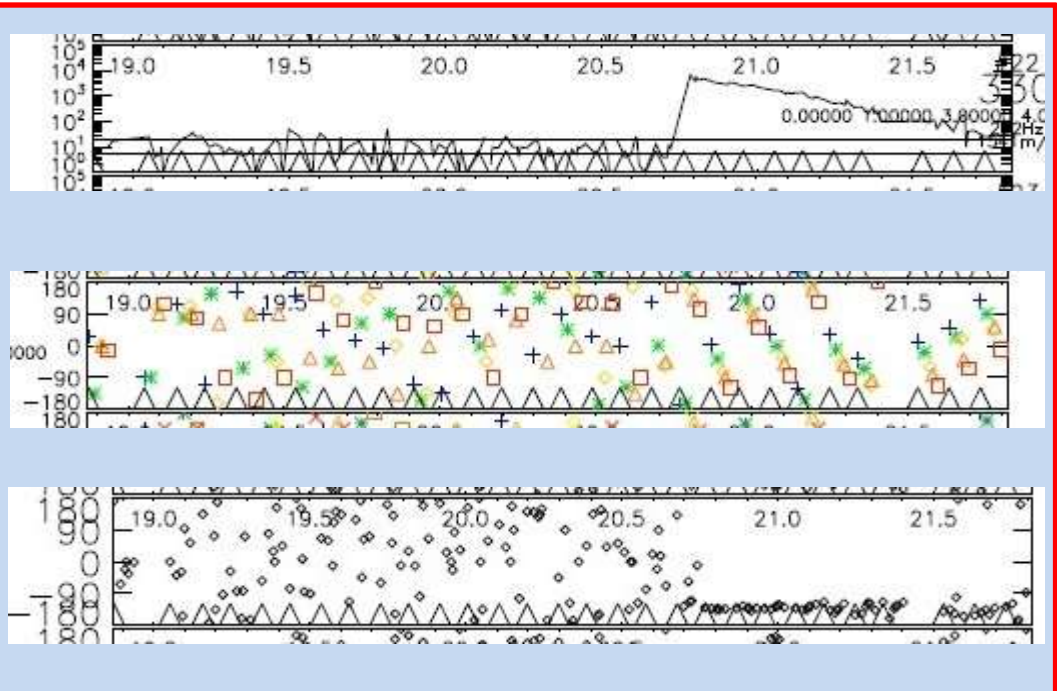


流星エコーを発見

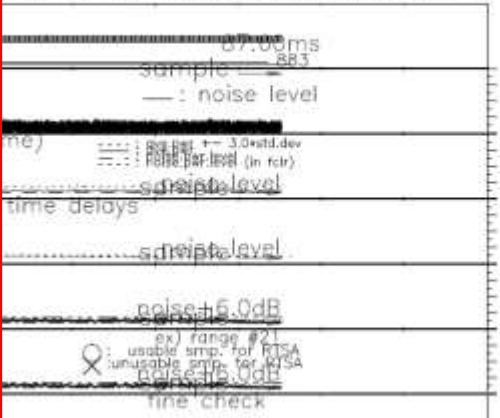
tms_plot.proで生成されたプロット(2011/09/04 20:51:18 UT

15km mode)

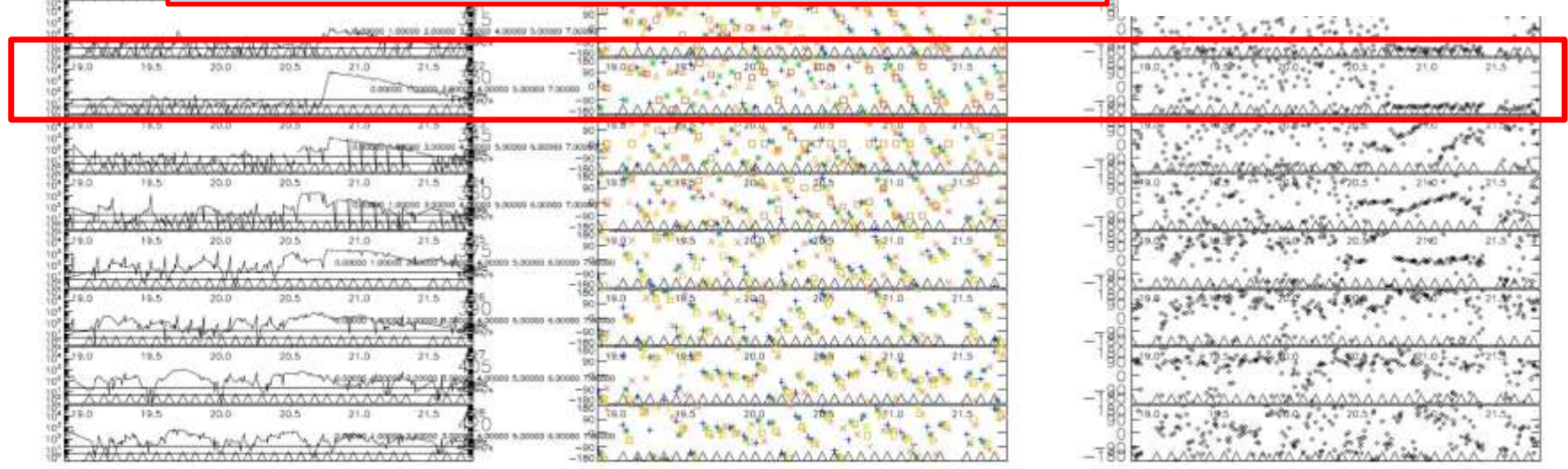
Hokkaido
mppul 8, r
ppat[8]=[0,14,2



Series Plot
3kHz, intt3sec (nave29). xcf 1
MaxRng 3600km, nsmp 869, seqtime 87.60ms
MaxBadRng 15km, pwrthr 6.0dB(20.0dB, finechk)



Underdense echo?



19.0 19.5 20.0 20.5 21.0 21.5
TIME (sec)

19.0 19.5 20.0 20.5 21.0 21.5
TIME (sec)

19.0 19.5 20.0 20.5 21.0 21.5
TIME (sec)

5日間・述べ16時間分のデータのTMSプロットから見つかった
 流星エコーと、そこから推定された中性風の高度・水平速度
 (到来角はX-Phaseから計算したものと、fitacfのデータの2種類を使用)

日付(モード)	時・分・秒	レンジ(km)	X-Phase	fitacf	fitacf	X-Phase	fitacf
			高度(km)	高度(km)	視線方向速度 (m/s)	水平速度(m/s)	水平速度(m/s)
20110904(15km)	180132	300	96.3	40	-1.2	-1.31	-1.21
	180822	240	114	103.32	-2.6	-3.06	-2.88
	194127	225	102.7	93.66	5.9	6.87	6.49
	201421	240	109.2	98	-31.5	-36.64	-34.51
	202339	225	133.3	109.43	-36.7	-47.37	-42
	215138	240	144.7	117.09	-32.3	-42.08	-37
20111124(15km)	192744	315	172.7		-15.4	-19.12	
	194020	300	146.9	12	3.5	4.16	3.5
	194435	285	173.9	77.6	-20.1	-26.41	-20.89
	203544	300	161.5	50	-49.2	-60.61	-49.9
	205508	330	133.4		-23.5	-26.59	
	212238	330	135.5		-8.8	-9.98	
20111129(45km)	181013	360	119.9	218.66	-29.7	-32.57	-37.39
	181806	315	155.3	207.9	-31.1	-37.07	-41.4
	210859	270	112.1	63.03	2	2.27	2.06
20120101(45km)	201017	405	261.9	229.98	-14	-19.13	-17.01
	214953	270	183.6	100.27	13.9	14.27	14.97
20120104(15km)	200235	285	144.1	41	-30.6	-36.79	-30.92
	204201	315	179.5	182.47	-20.1	-25.41	-24.66
	205120	330	120.9	177.8	-40.6	-45.13	-48.19

観測データ(.iqdat)

TMS形式(.tms)

NRE形式(.nre)

変換: iq2tms.c

変換: tms2nre.c

2011/08~

15km mode: 6日/月

45km mode: 残り

読込:
tms_read_xxx.pro

プロット:
tms_plot.pro

流星エコーを発見



中性風の推定には多数の流星が必要だが、時間と手間がかかる

読込: tms_read.pro

プロット: nre_plot.pro

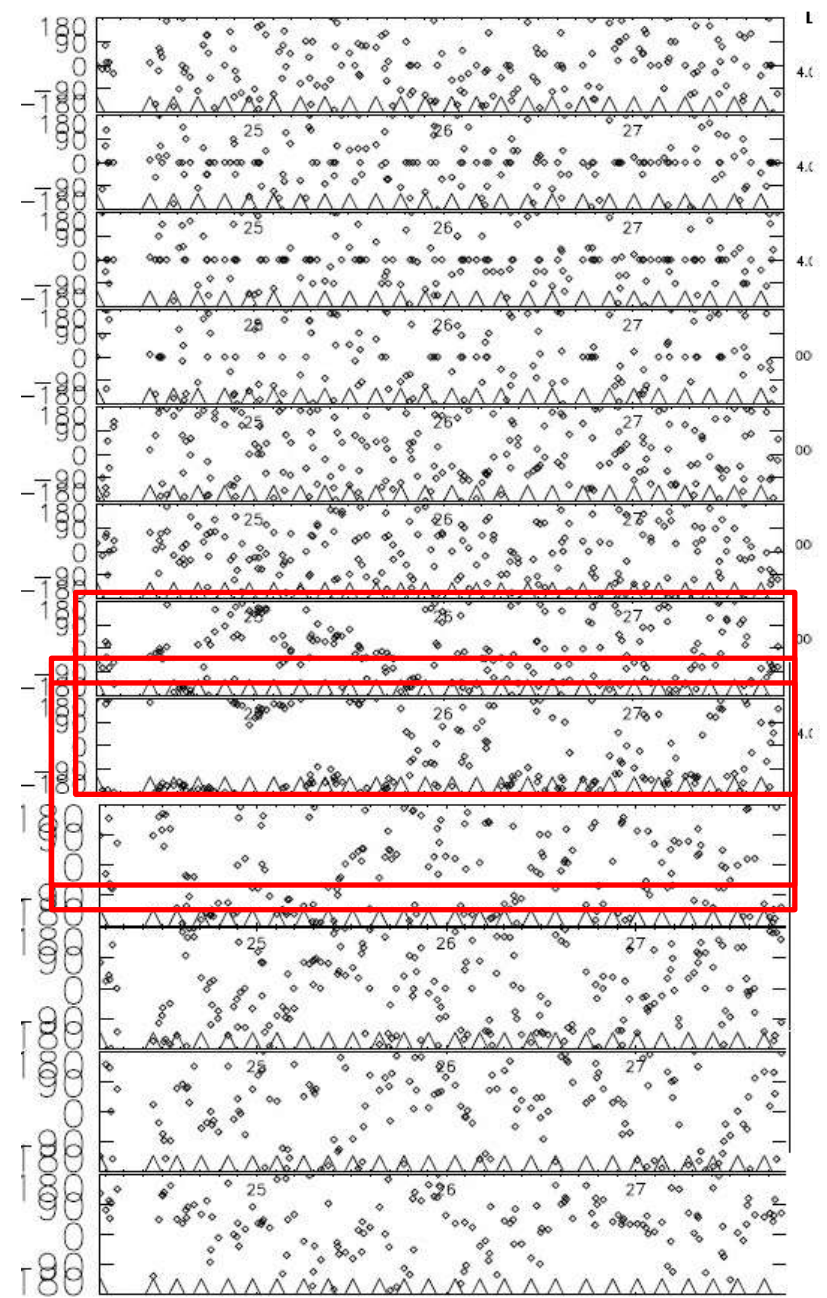
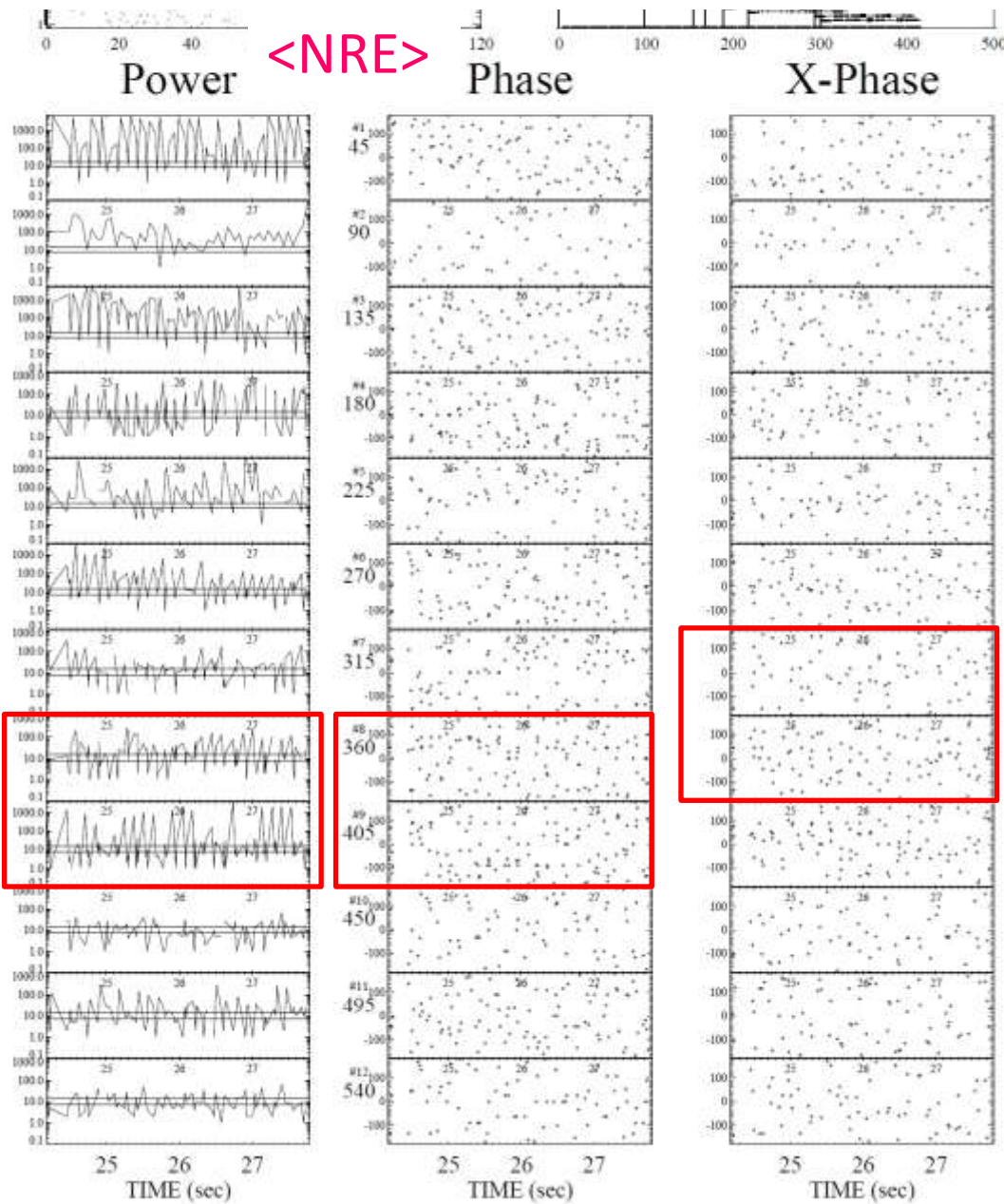
自動抽出:
hfmet_200704.pro



変換に問題あり?

同じ時刻のNREプロットとTMSプロット <TMS> X-Phase

の比較 ⇒ 異なる結果に(調査中)



まとめ

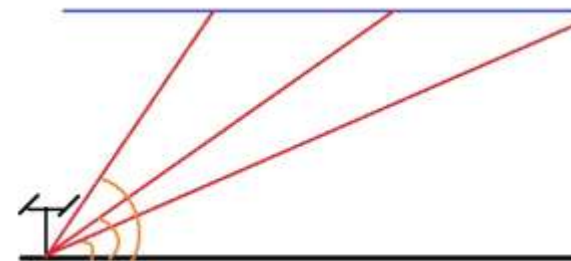
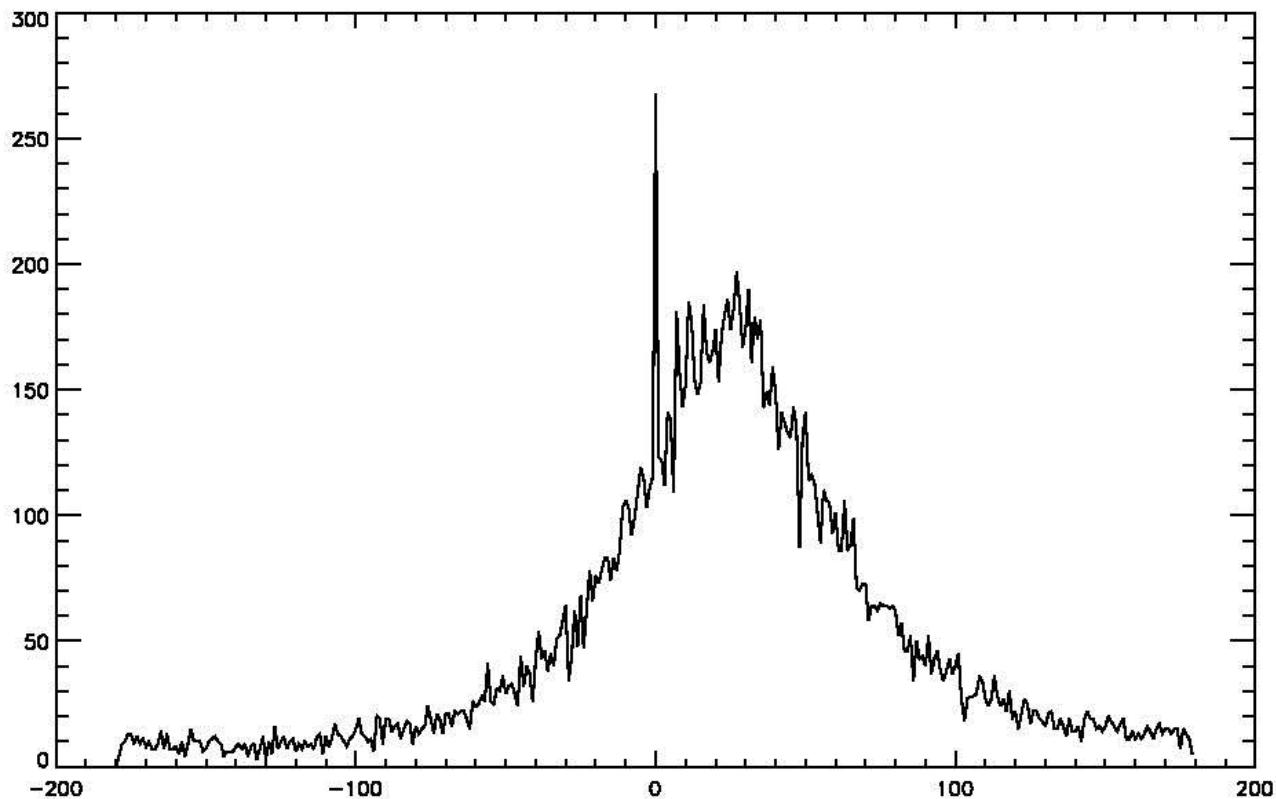
- ・北海道レーダーの観測データをTMS形式に変換し、プロット中に明らかな流星エコーを確認できた。
- ・確認された流星エコーについて、X-Phaseからの計算とfitacfの参照の二つの方法からそれぞれ求めた到来角を用いて中性風の水平速度とエコーの高度を推定した。
- ・高度の分布は流星エコーの分布高度(70 – 110km)とあまり一致しなかった。これは、レーダーのRangeもしくはX-Phaseのオフセットの値に関係していると考えられる。

今後の方針

- ・NRE形式への変換に生じている問題を解決する、もしくは自動抽出プログラムをTMS形式用に改良することで流星エコーの自動抽出を実現する。
- ・到来角や高度の推定に影響を与えている原因について検討する。

補足用

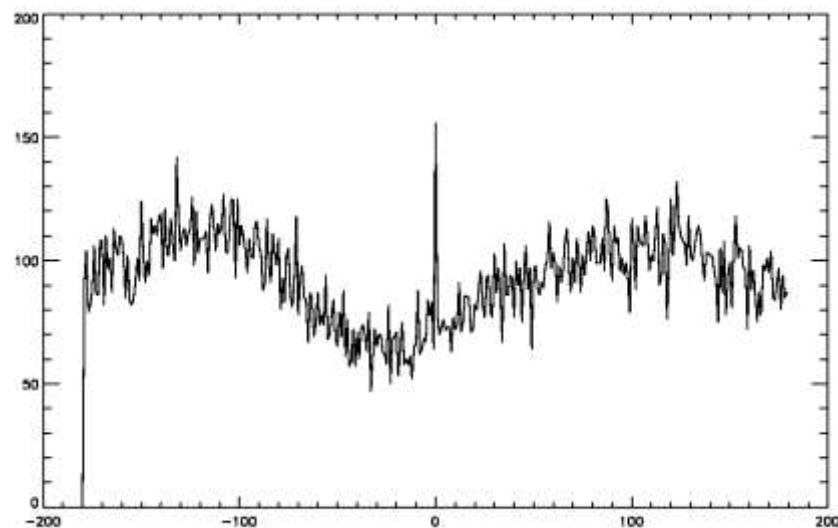
自動抽出された流星のエコーのX-Phaseの分布



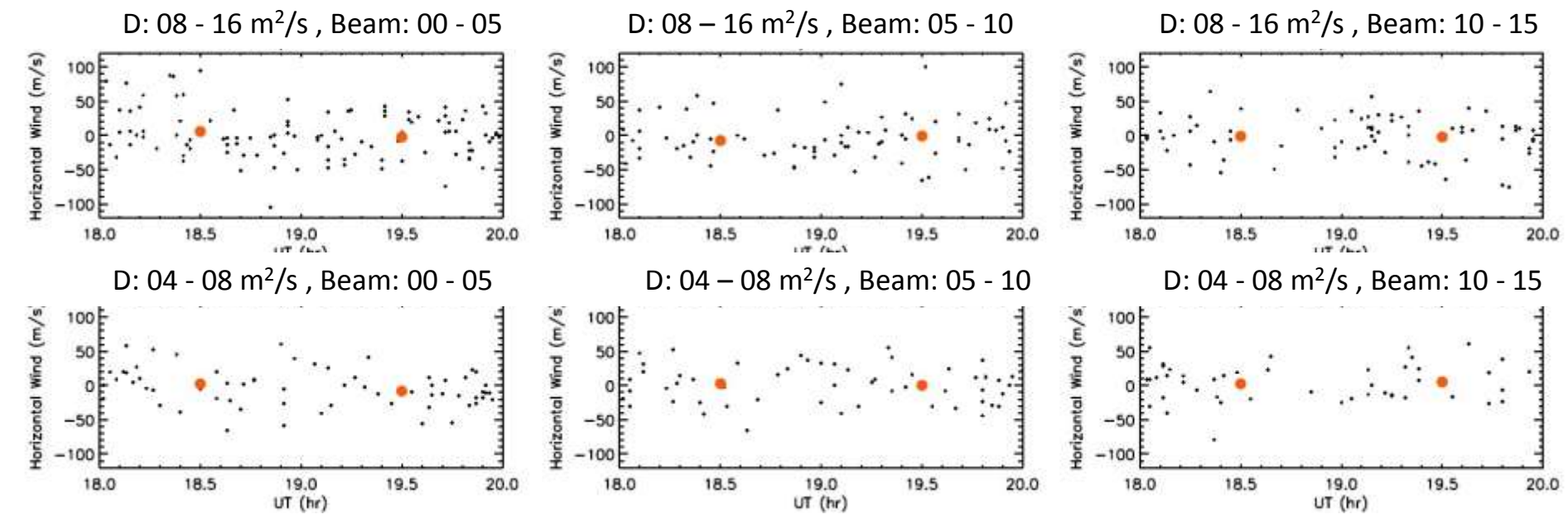
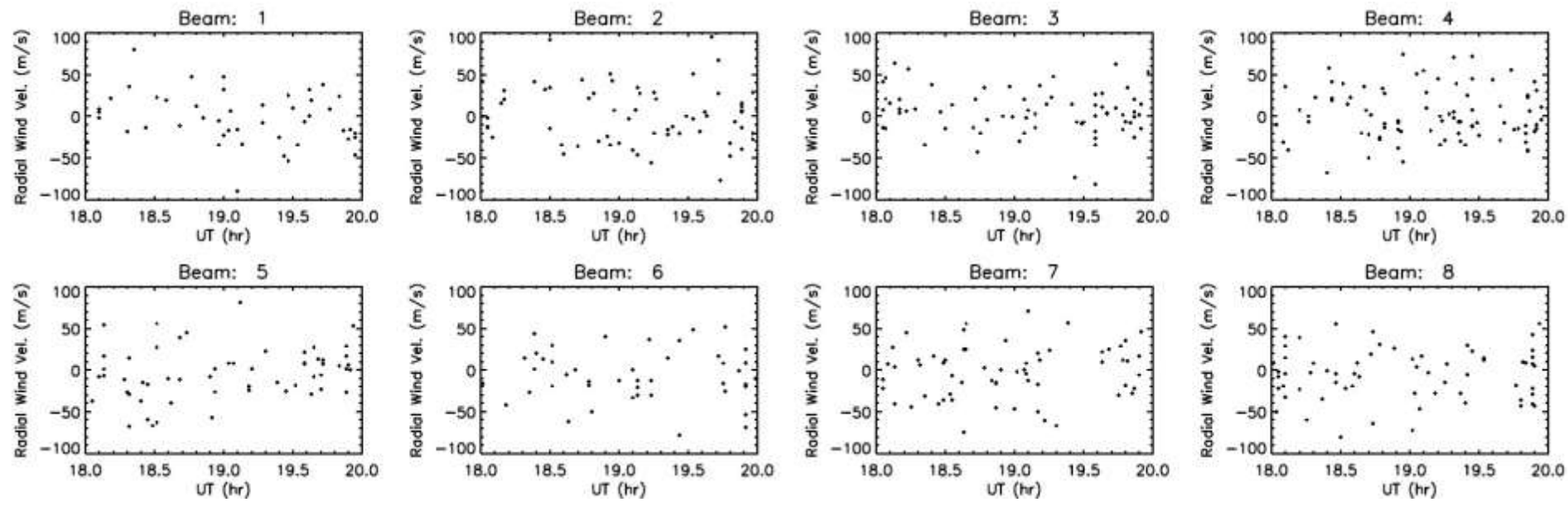
← Hokkaido (2011/09/04)
↓ Iceland (2004・参考)

流星エコーは様々なレンジに分布
= X-Phaseは $-180 \sim 180^\circ$ で一様に分布する
はず

北海道レーダーでは 30° 付近に集中
⇒ NREへの変換に不具合？

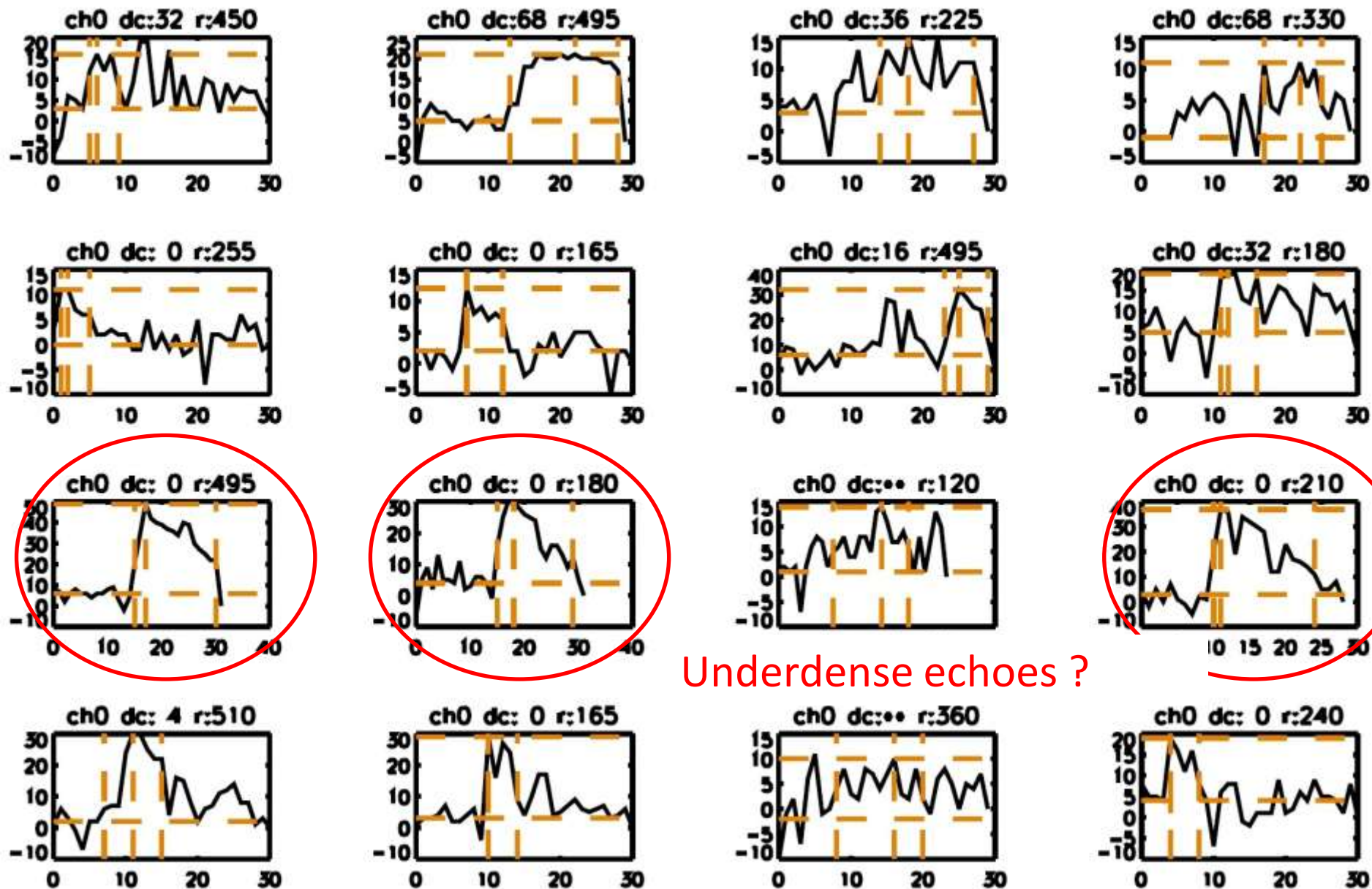


流星エコーの自動抽出プログラムの動作結果(一部) 2011/09/04 15km mode (上:ビーム別の視線方向風速分布・下:拡散係数D・ビーム別の水平方向風速分布)



流星エコーとして検出されたエコーのPowerの時系列(一部)

2011/09/04 15km mode



Underdense echoes ?

日付(モード)	時・分・秒	レンジ(km)	到来角(計算)	到来角(fitacf)	高度(計算)	高度(fitacf)
20110904(15km)	180132	300	23.63	7.9	96.3	40
	180822	240	31.89	25.5	114	103.32
	194127	225	30.82	24.6	102.7	93.66
	201421	240	30.72	24.1	109.2	98
	202339	225	39.22	29.1	133.3	109.43
	215138	240	39.86	29.2	144.7	117.09
20111124(15km)	192744	315	36.35	0.1以下	172.7	
	194020	300	32.81	2.36	146.9	12
	194435	285	40.43	15.8	173.9	77.6
	203544	300	35.73	9.6	161.5	50
	205508	330	27.9	94.8	133.4	
	212238	330	28.16	0.1以下	135.5	
20111129(45km)	181013	360	24.22	37.4	119.9	218.66
	181806	315	32.96	41.3	155.3	207.9
	210859	270	28.4	13.5	112.1	63.03
20120101(45km)	201017	405	42.96	34.6	261.9	229.98
	214953	270	13.09	21.8	183.6	100.27
20120104(15km)	200235	285	33.72	8.3	144.1	41
	204201	315	37.7192	35.4	179.5	182.47