

**2006 年 12 月 15 日の
磁気嵐中に観測された LSTID
の励起過程について**

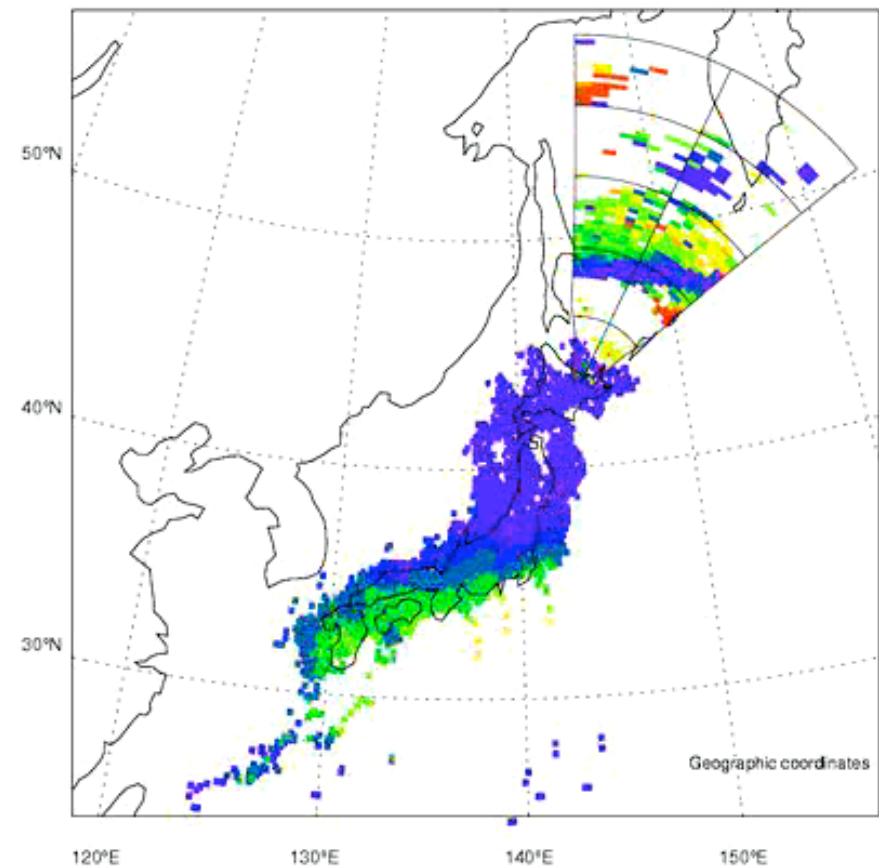
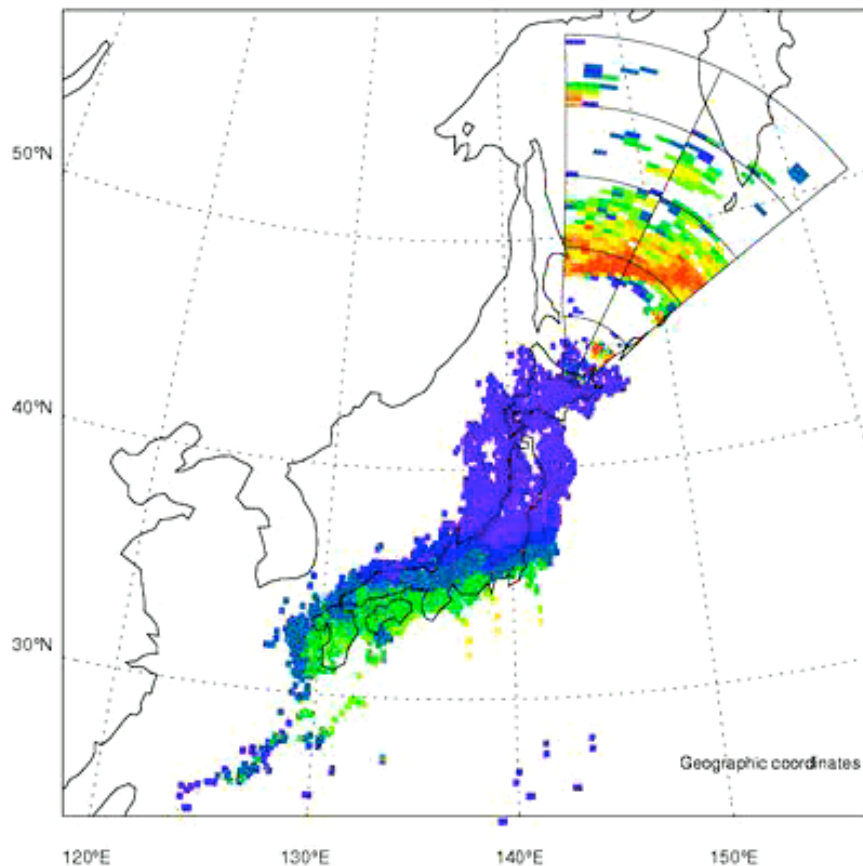
細川敬祐

電通大

いわゆる“林イベント”

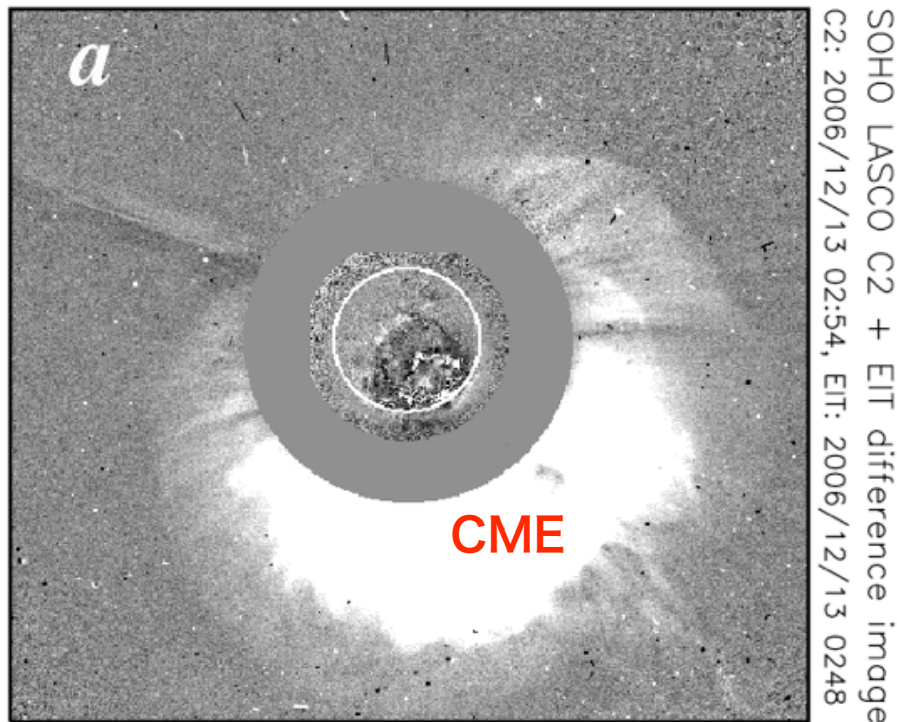
- ✓ GEONET GPS-TEC と北海道レーダーによる広域 LSTID 観測
- ✓ 2006 年 12 月 15 日の磁気嵐中
- ✓ Hayashi et al. (2010) では北から 2 発, 南から 1 発を解析

0123 00s UT

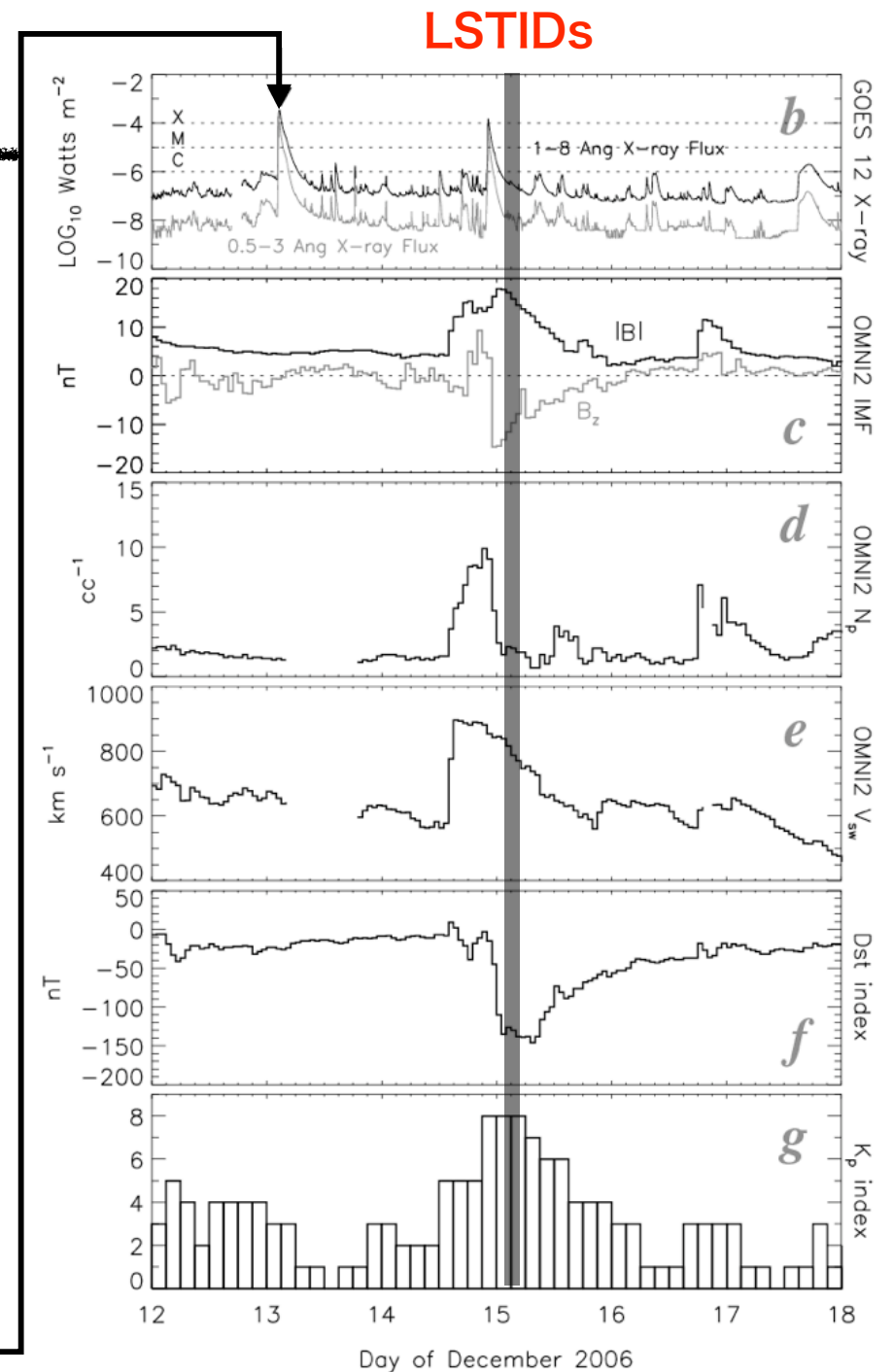


忠臣蔵磁気嵐

- ✓ Xクラスフレア
- ✓ コロナ質量放出 (CME)
- ✓ 磁気雲 (Magnetic Cloud)
- ✓ Dst -146 nT

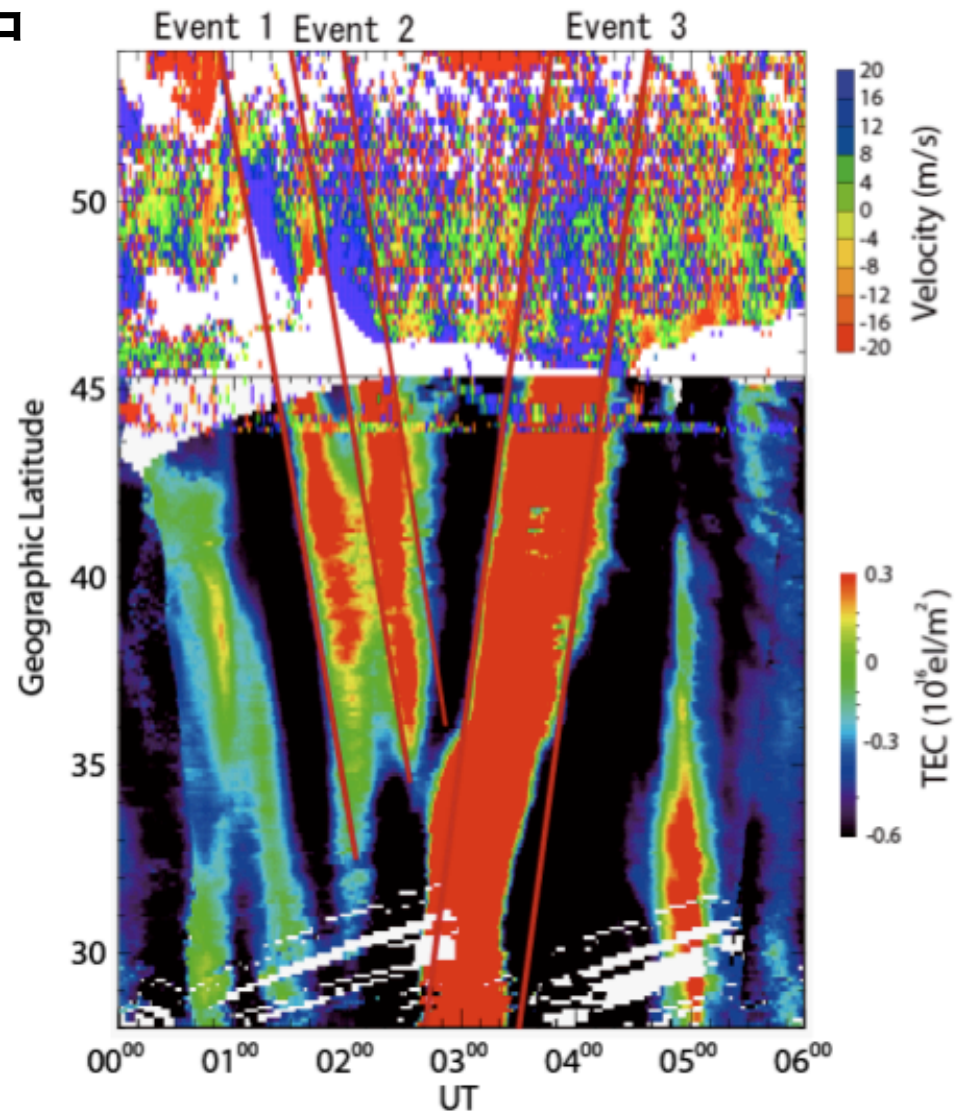
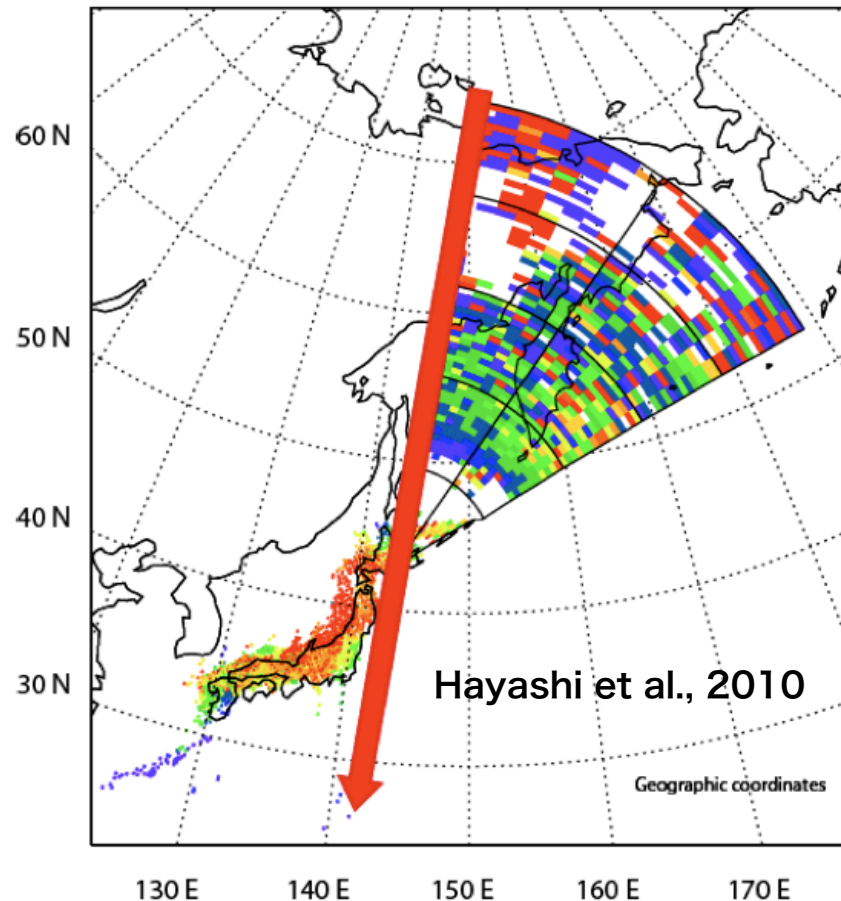


SOHO LASCO + EIT



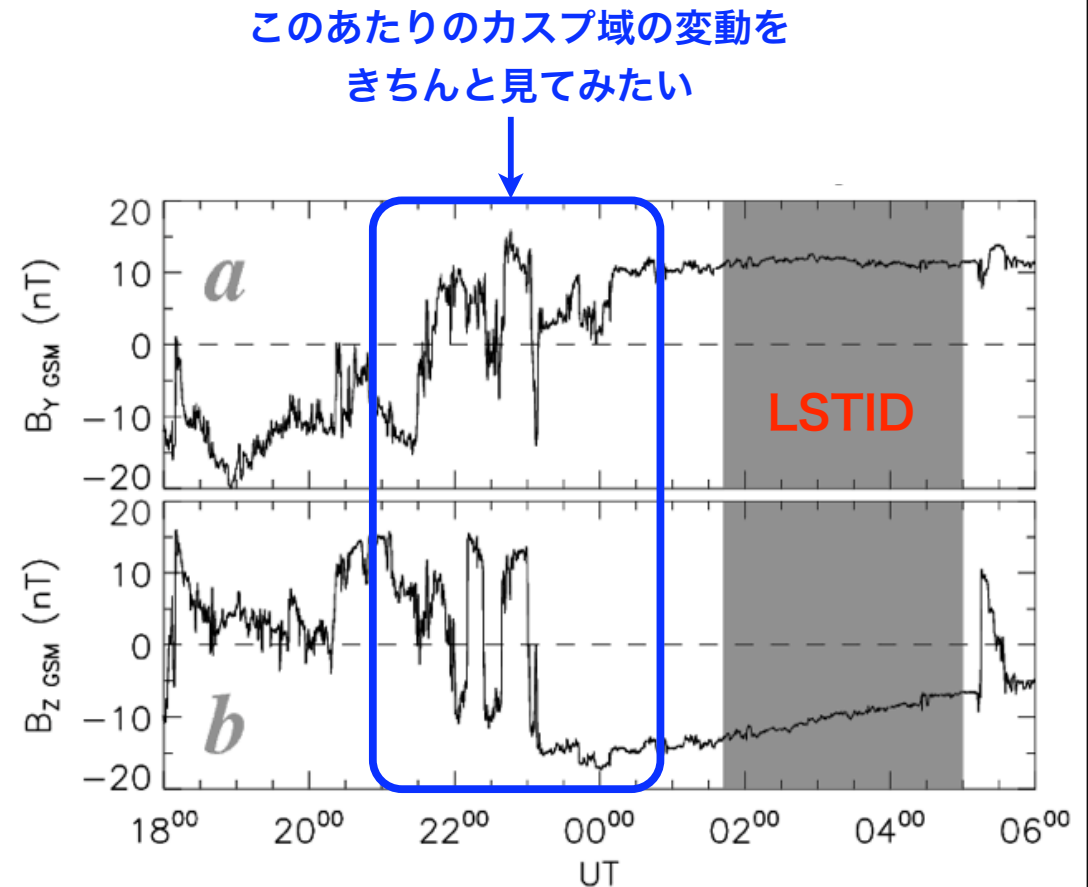
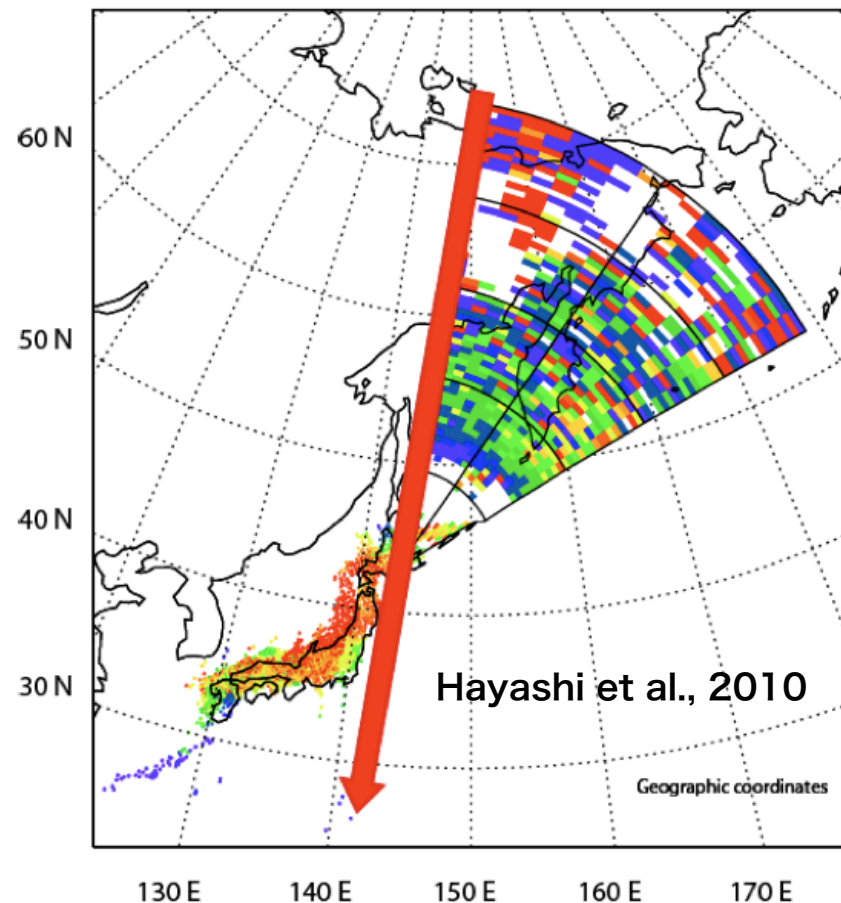
いわゆる“林イベント”のあらまし

- ✓ TEC 増大領域では電離圏は下がっていることが分かった
- ✓ 2006 年 12 月 15 日の磁気嵐中
- ✓ 北から 2 発, 南から 1 発



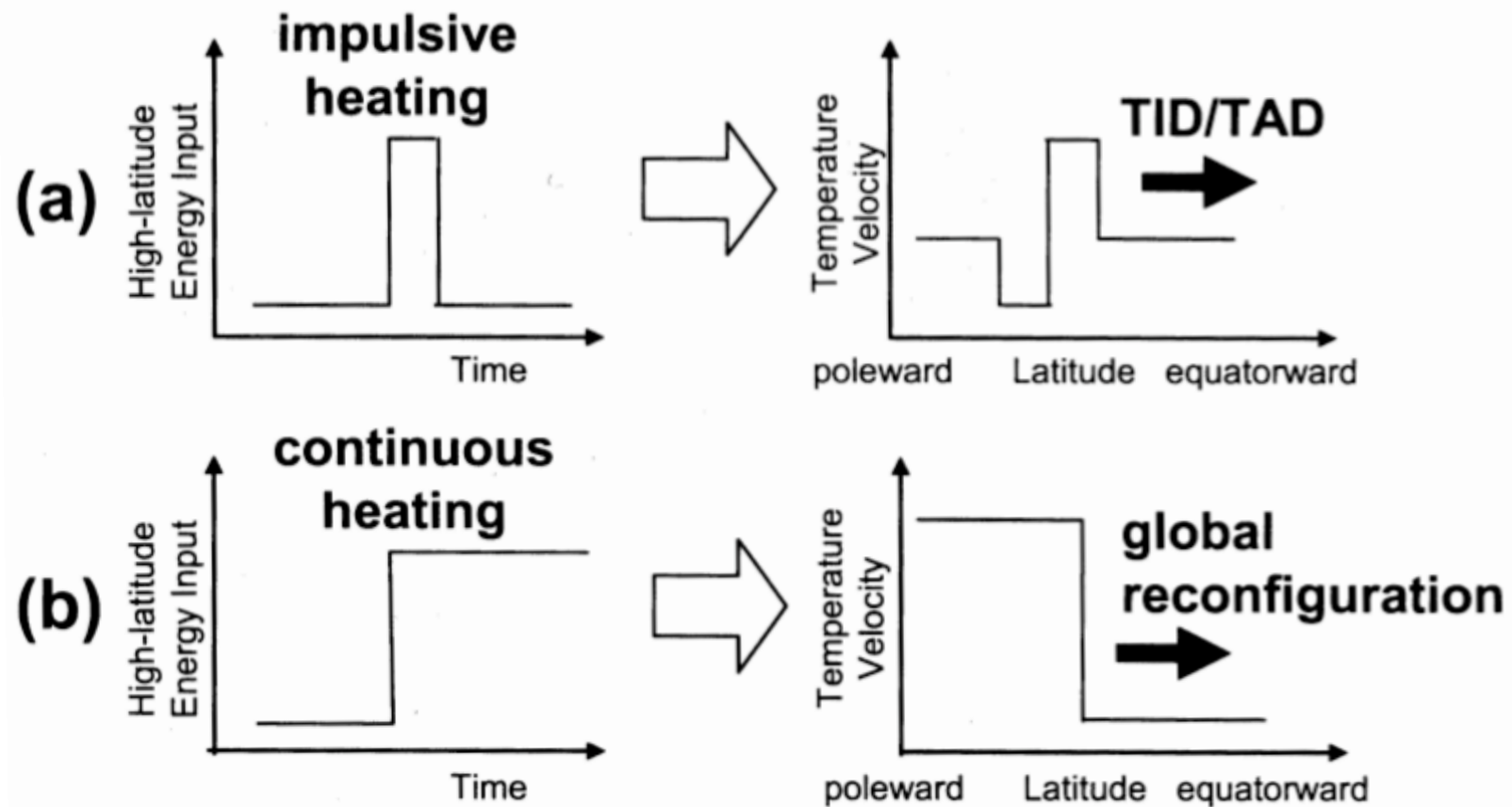
林論文の積み残し - LSTIDs の起源は？

- ✓ これらの LSTIDs は何によって励起されたのか？
- ✓ 夜側 LSTID の起源はサブストーム (Shiokawa et al., 2007)
- ✓ 昼間側 LSTID の励起過程について明らかにできないものか？



LSTID の励起過程

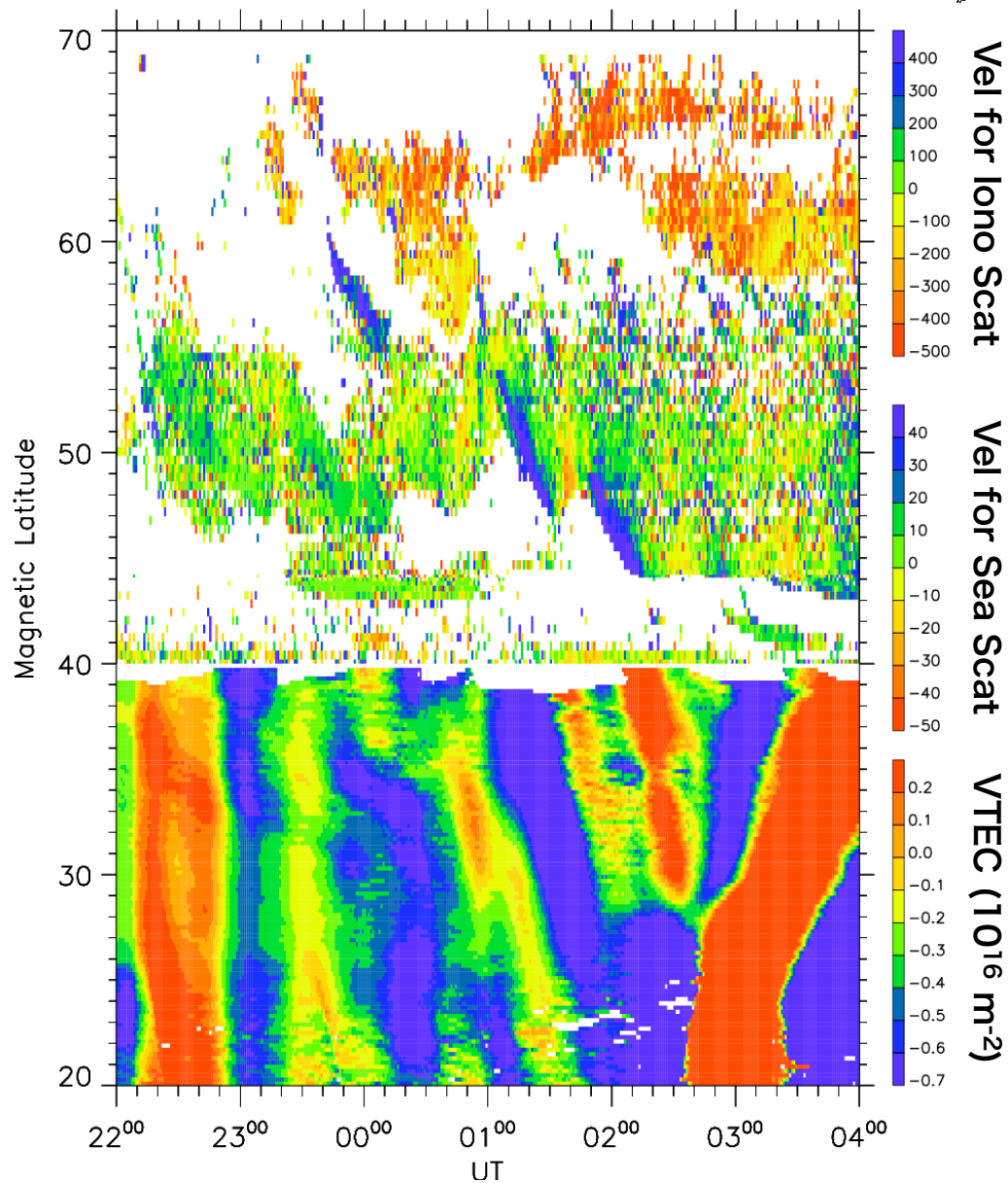
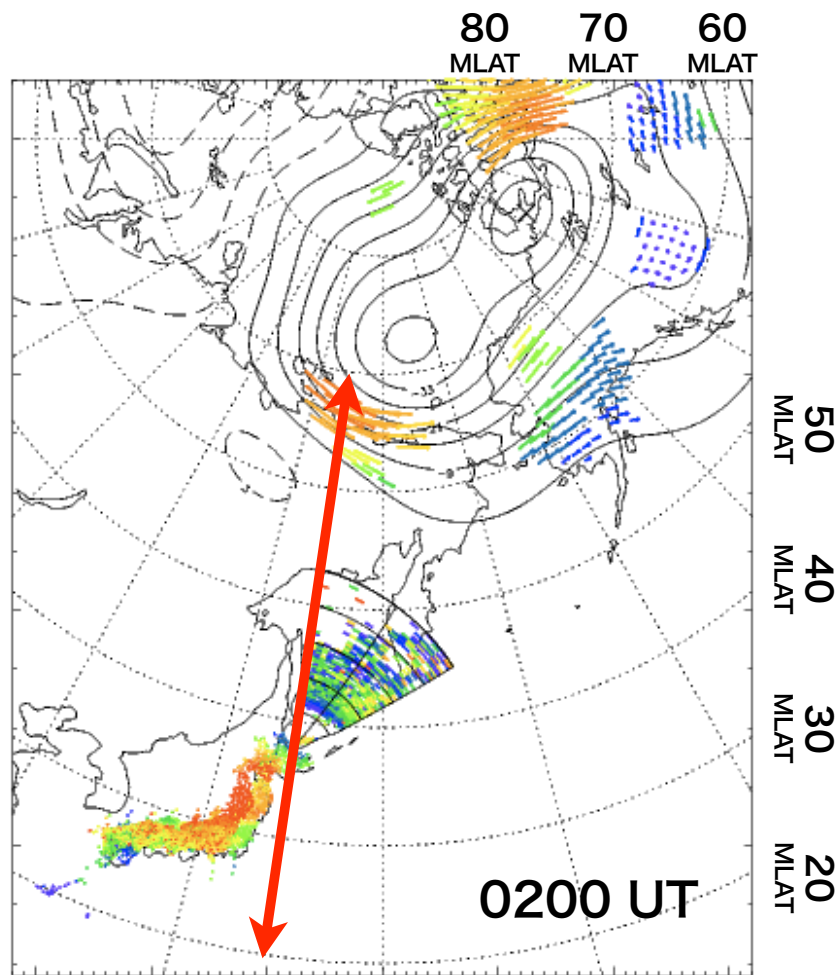
- ✓ LSTID を励起するには impulsive な heating が欲しい
- ✓ 夜側 LSTID の場合はサブストームに伴うジュール加熱がそれを担う



Shiokawa et al., AGU Monograph, 2008

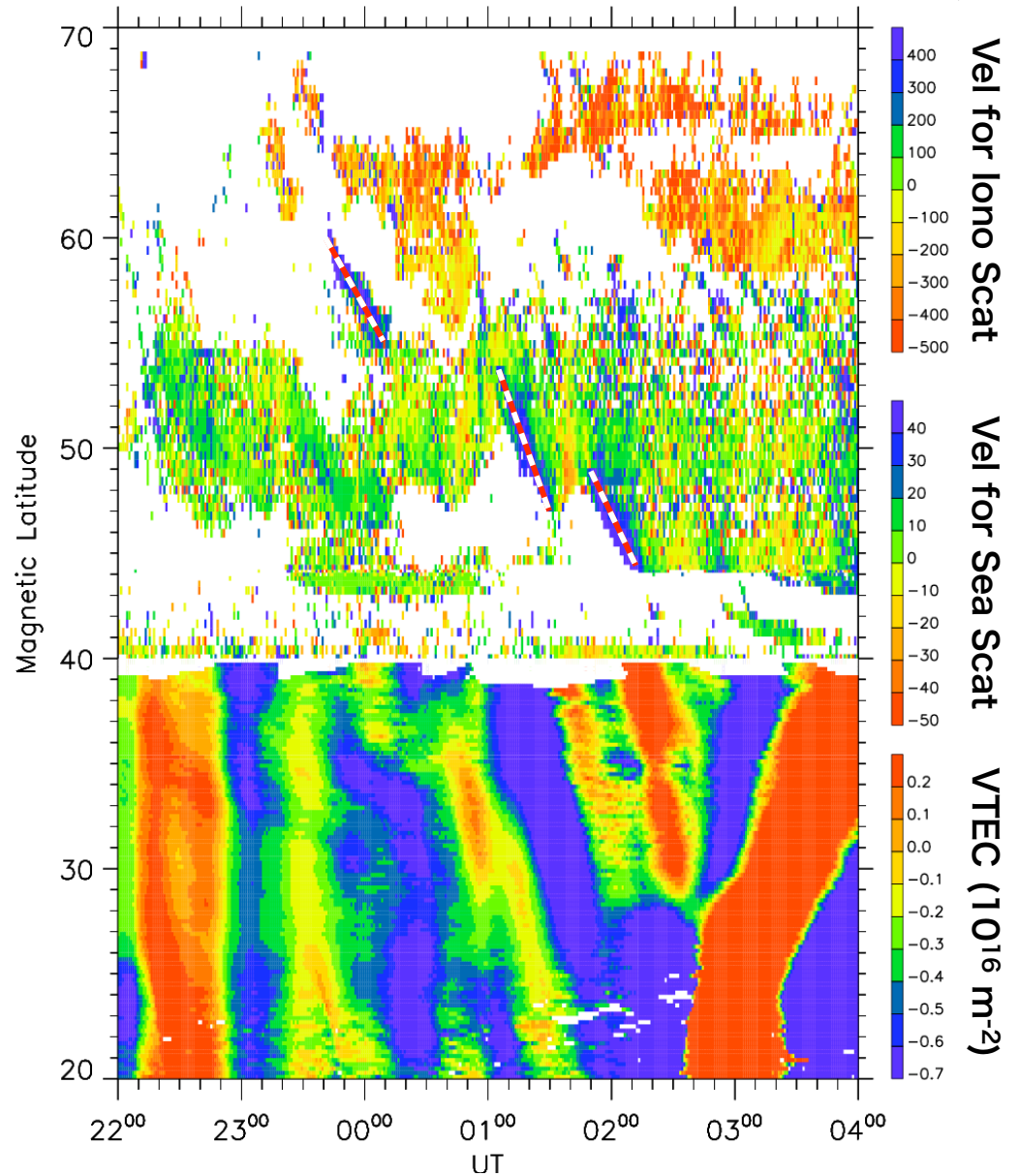
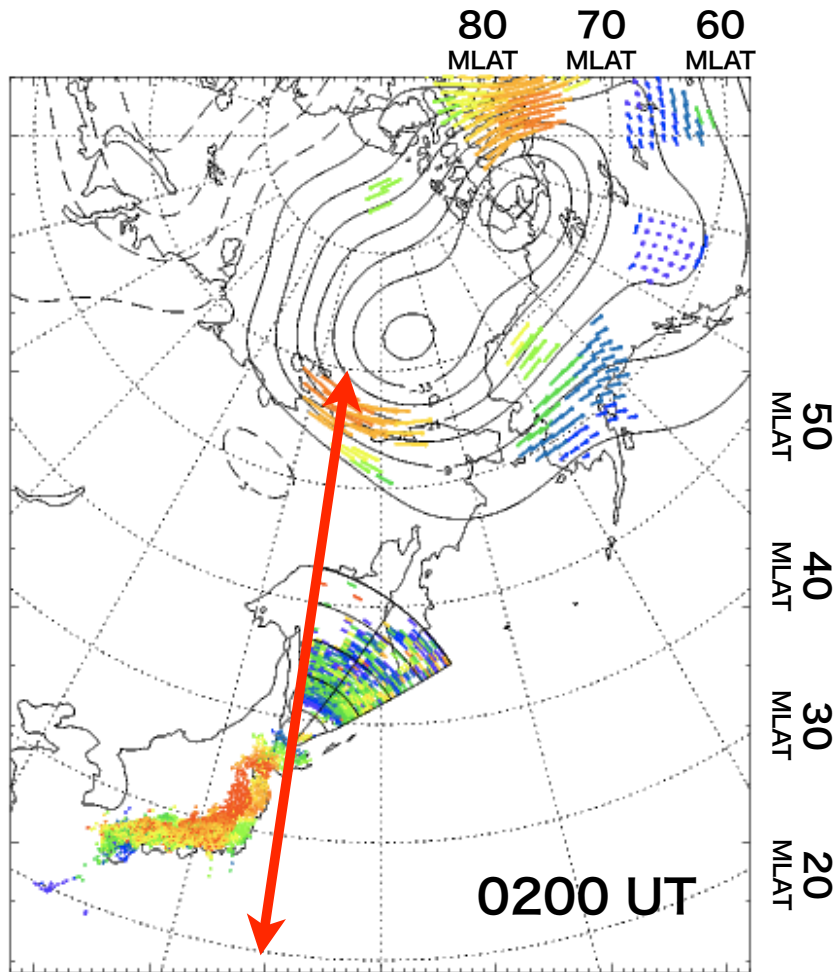
もういちどプロット

- ✓ Beam 0 に沿った基線
- ✓ 磁気緯度 20-70 度

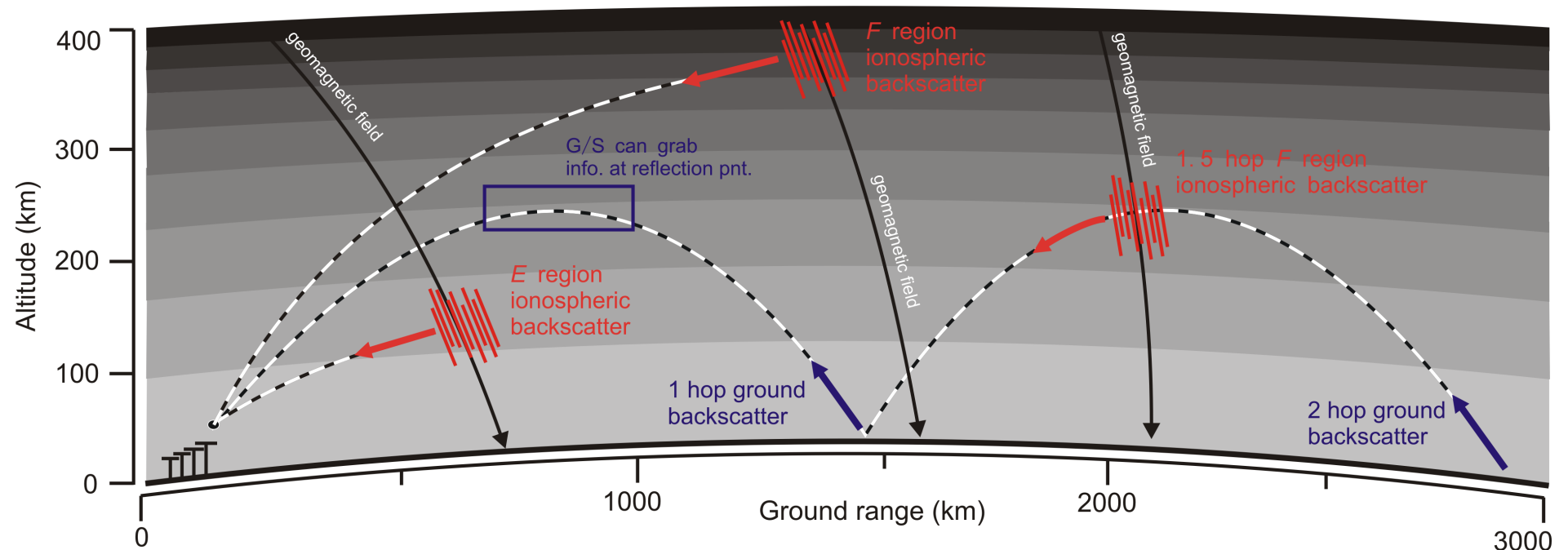


もういちどプロット

- ✓ Event 1, 2, 3 は明らか
- ✓ 加えて Event 0 もありそう



地上散乱エコーは反射点でマッピング



✓ 電離圏エコー (Ionospheric Scatter)

電離圏 E, F 領域の FAI によるブラッグ散乱. Doppler shift からプラズマ対流を測定

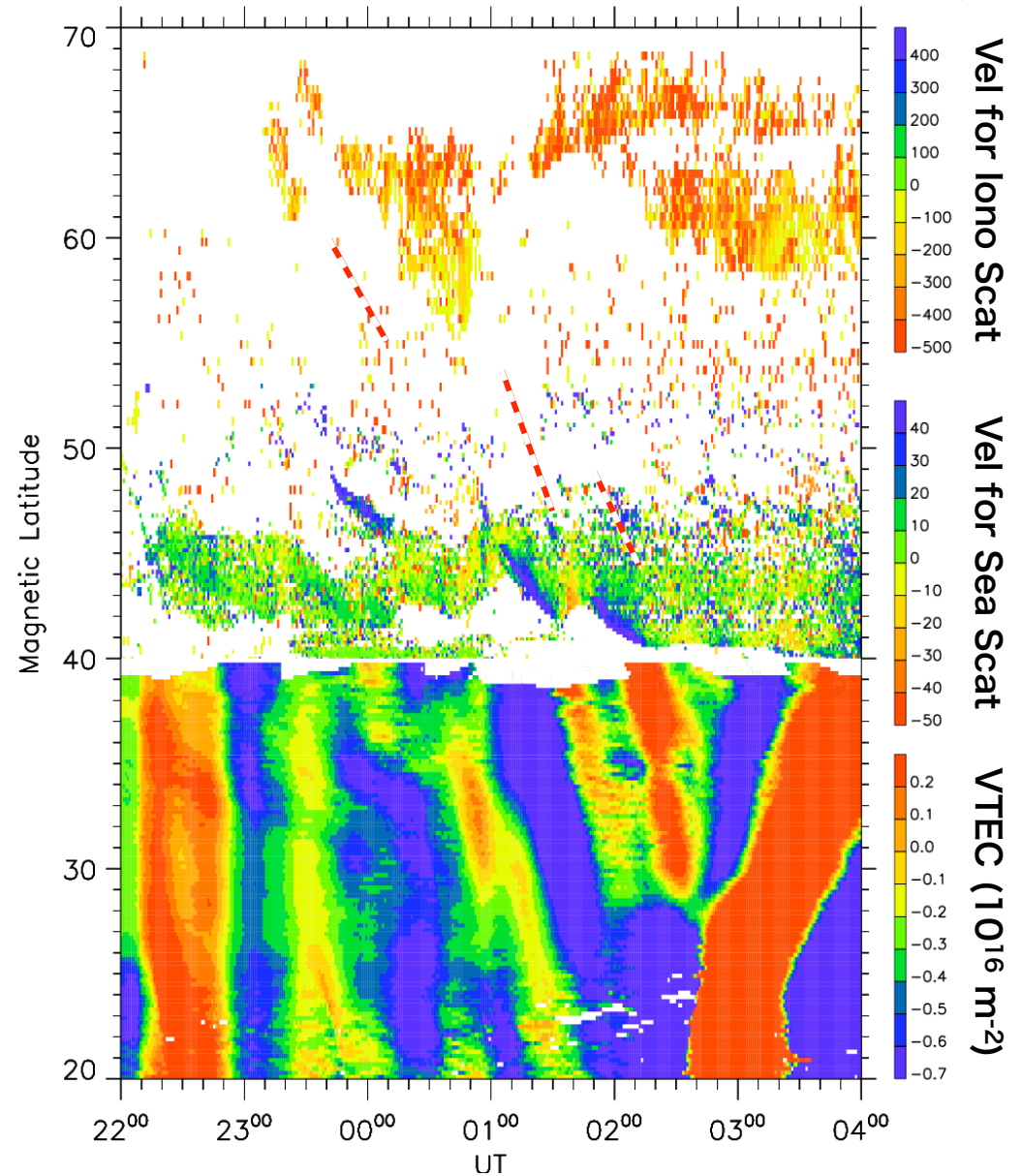
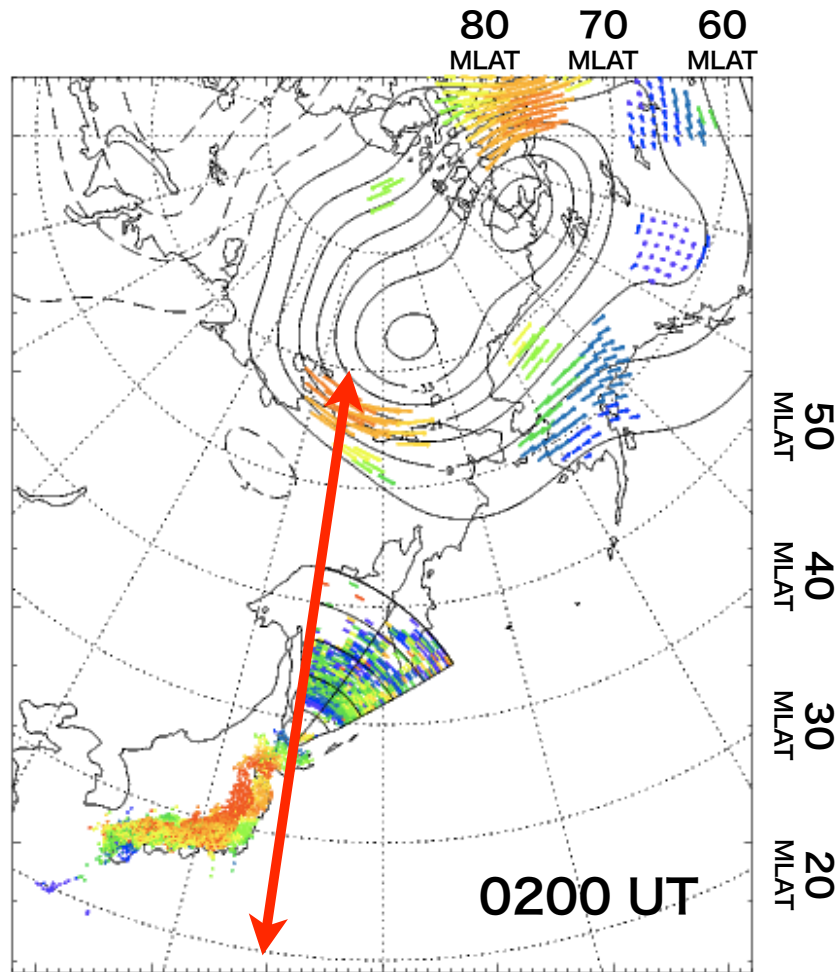
✓ 地上 (海面) 散乱エコー (Ground / Sea Scatter)

電離圏で反射した後, 地面で散乱し, レーダーまで戻ってくるエコー

ULF 波動などで電離圏に擾乱がある場合, その情報を持ち帰ることがある

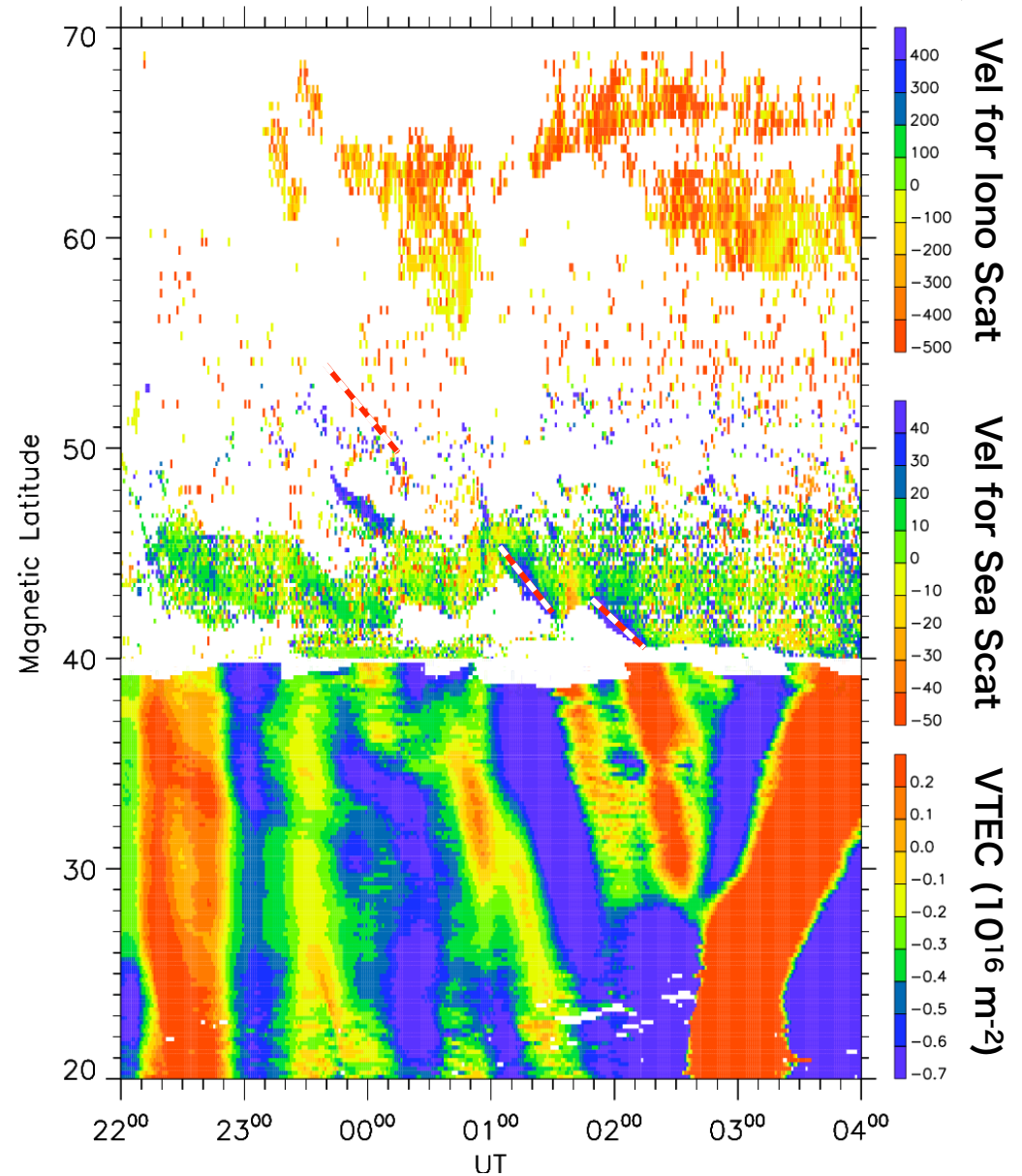
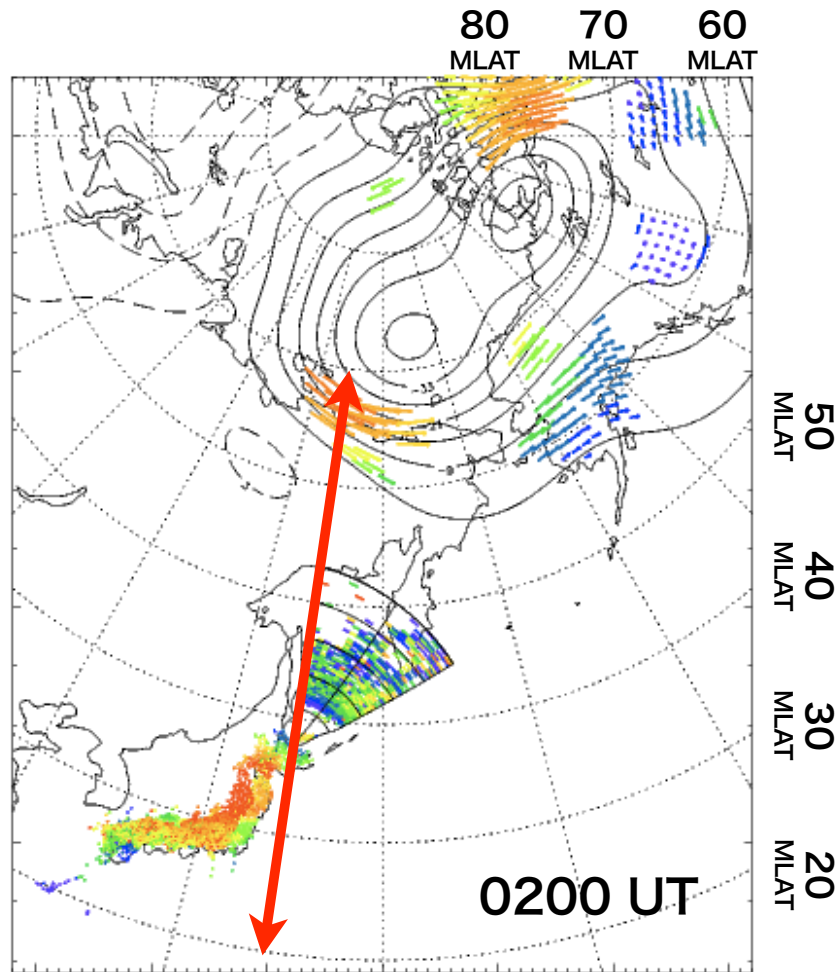
地上散乱エコーは反射点でマッピング

- ✓ 地上散乱エコーなので、
反射点 (0.5 hop) でマップ



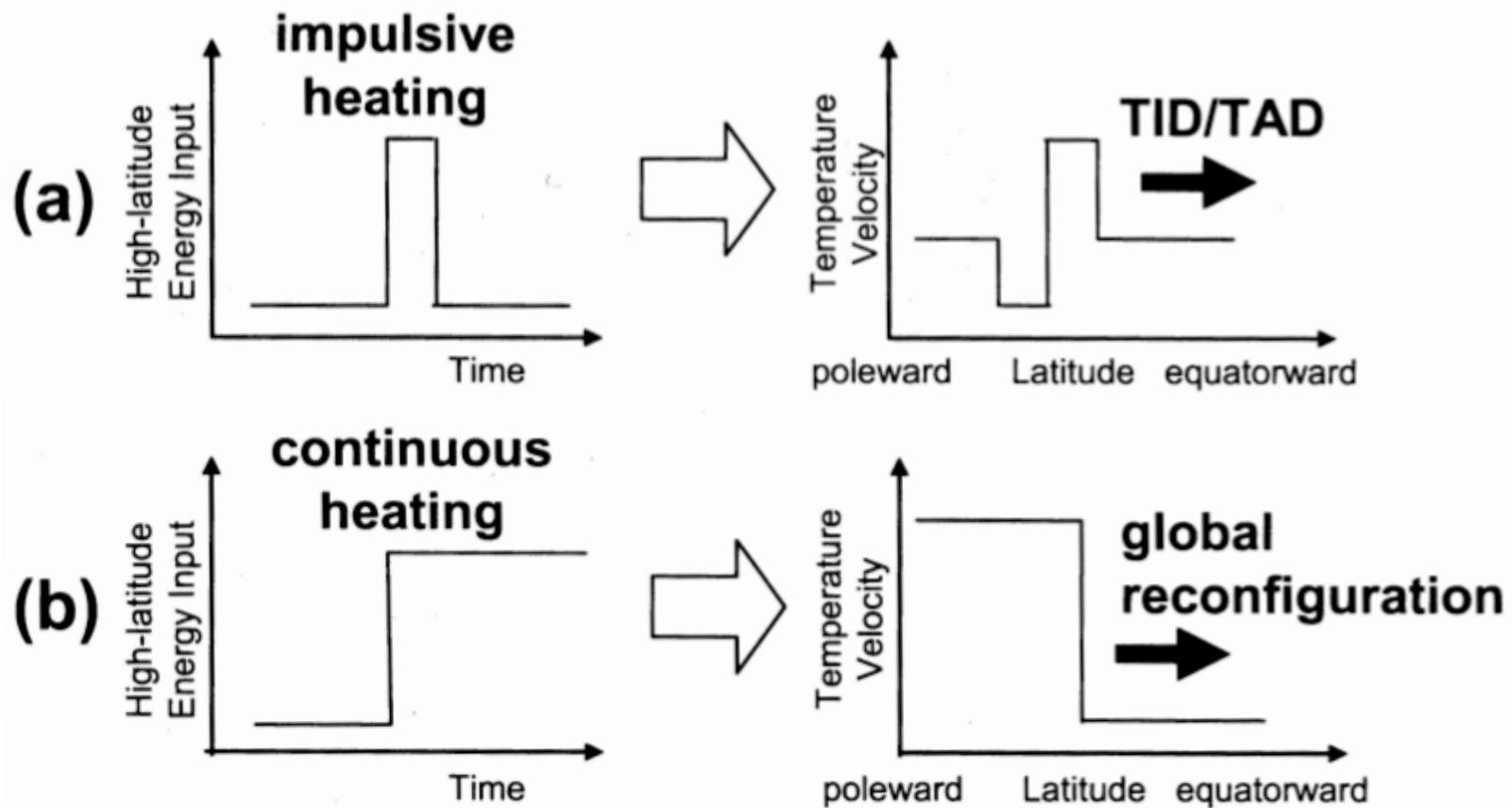
地上散乱エコーは反射点でマッピング

- ✓ 但し Event 0 だけは
1.5 hop の反射点でマップ



LSTID の励起過程

- ✓ LSTID を励起するには impulsive な heating が欲しい
- ✓ 夜側 LSTID の場合はサブストームに伴うジュール加熱がそれを担う



Shiokawa et al., AGU Monograph, 2008

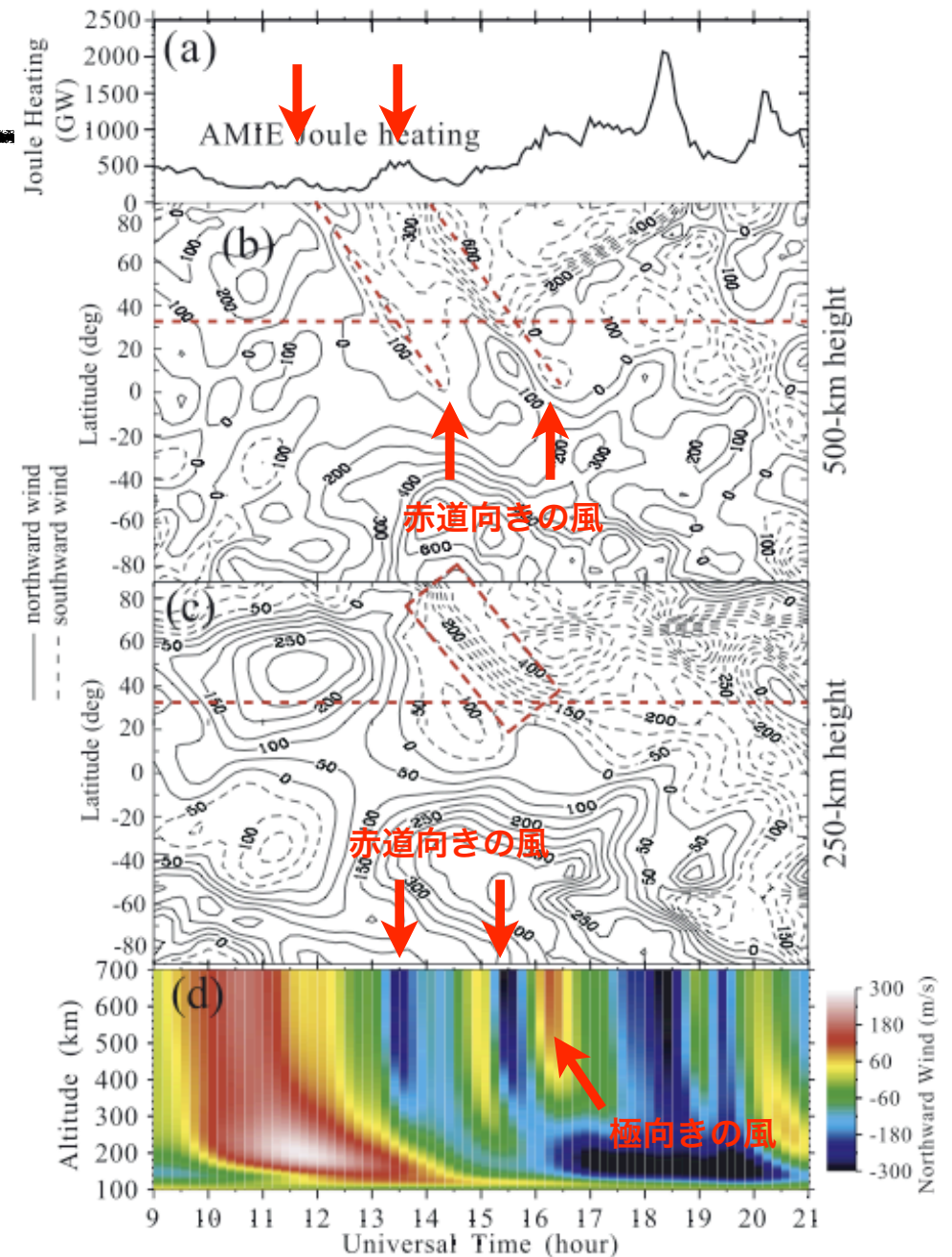
LSTID の励起過程

- ✓ Impulsive な heating
- ✓ 赤道向きの中性風が赤道へ伝搬
- ✓ 電離圏が上がる
- ✓ 大気光・TEC は減少?
- ✓ Heating が終わると rarefaction の効果で 極向きの中性風が希薄波として赤道へ伝搬
- ✓ 電離圏が下がる
- ✓ 大気光・TEC が増大

重要なポイント:

先に赤道向きの中性風, 後で極向きの中性風

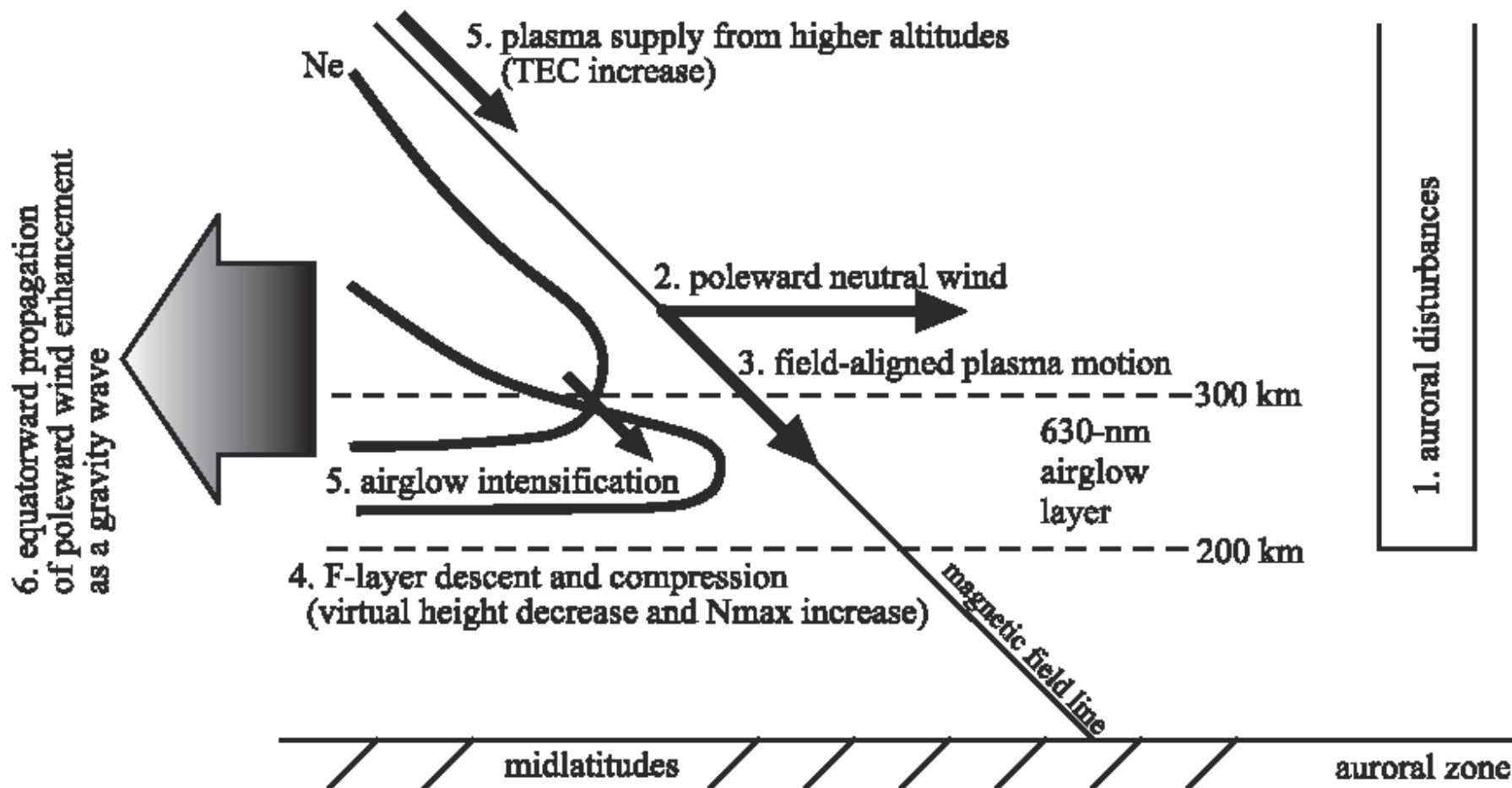
極向き風に伴う変動が LSTID として見えた



Shiokawa et al., 2007

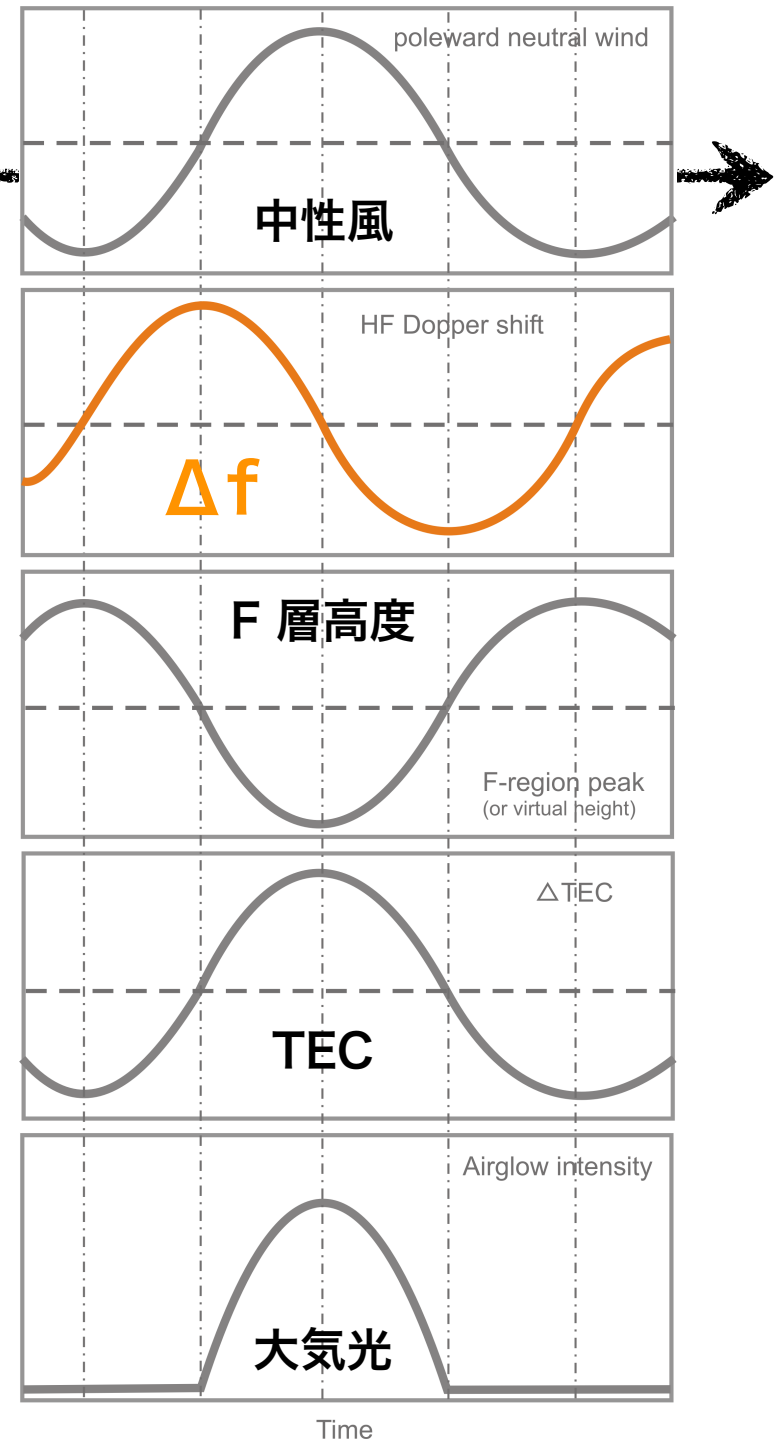
中性風・電離圏上下動・TEC 変動

✓ 極向き風の赤道伝搬 → 電離圏下がる → 大気光増光・TEC 増大



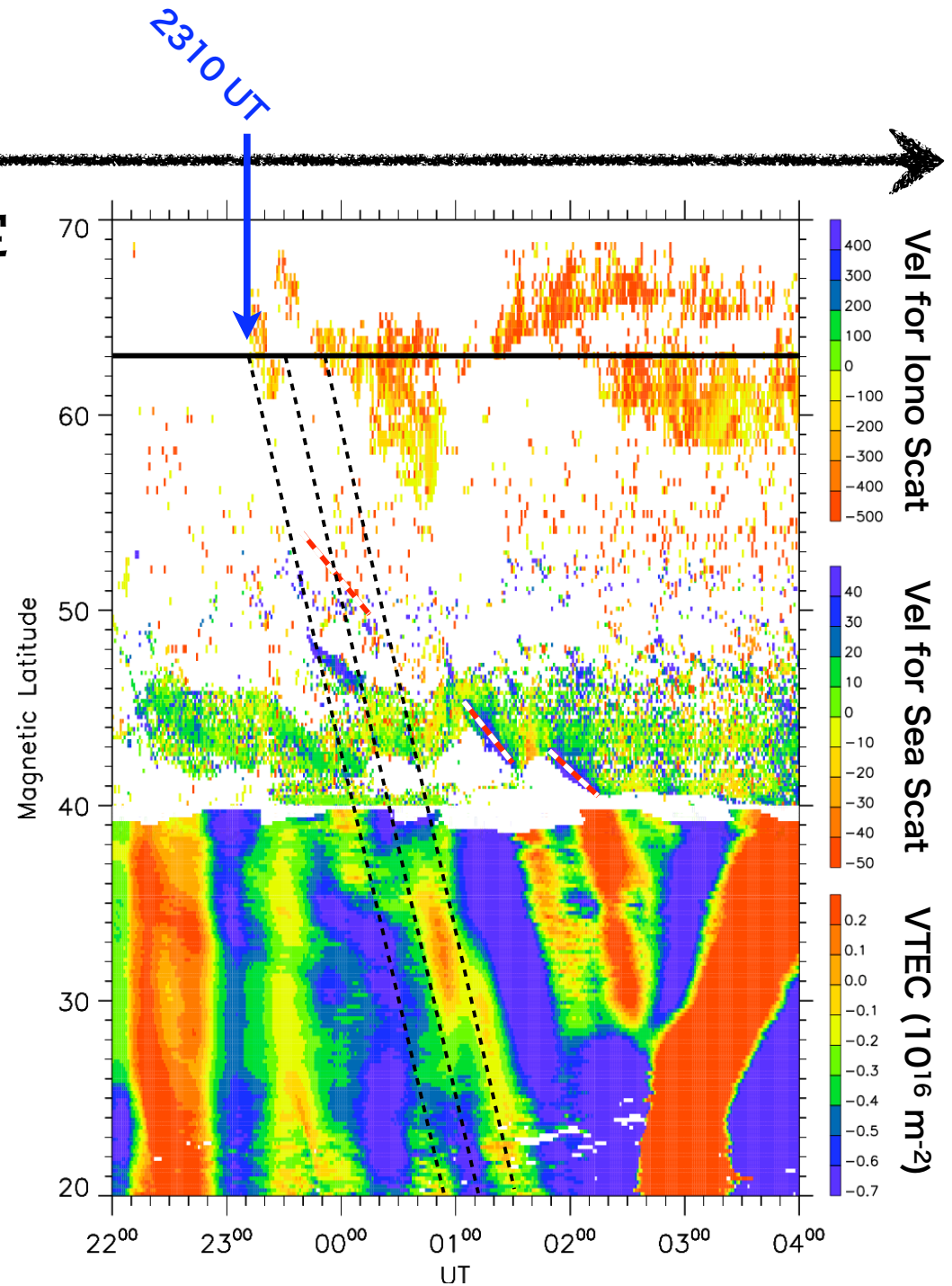
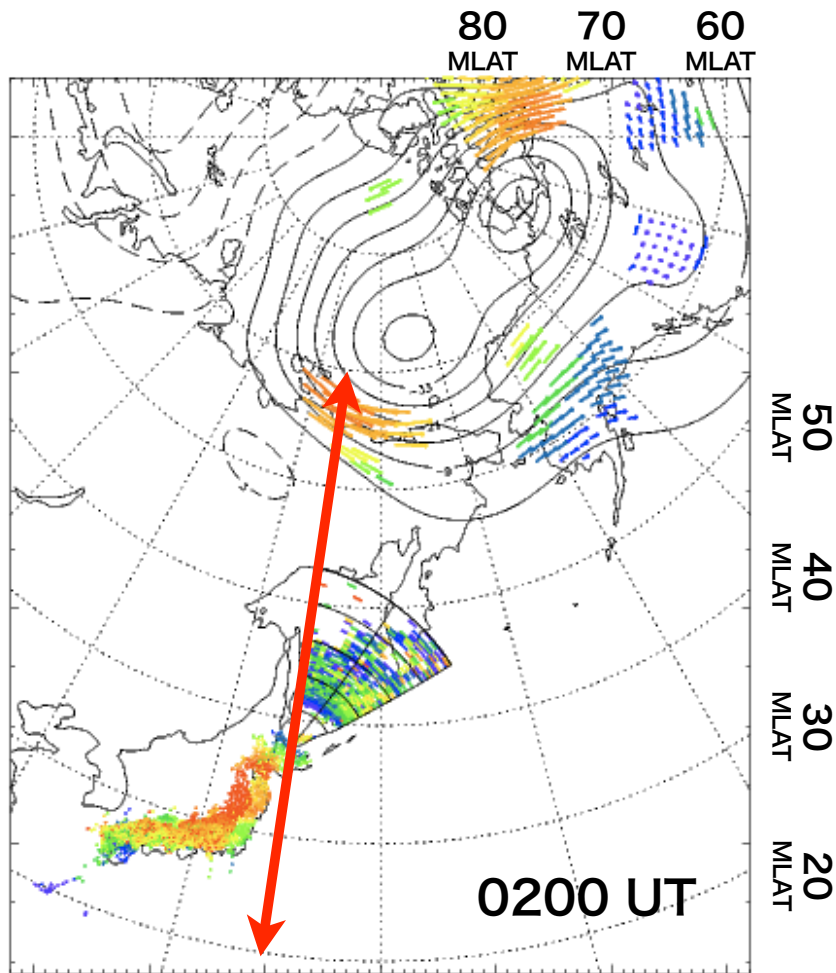
極向き風 = Δf ?

- ✓ 極向き風と HF レーダーで観測されるドップラーシフトは半波長ずれるはず
- ✓ ドップラーシフトが $\lambda/2$ 先行する
- ✓ 波面の伝搬を追跡する際には注意が必要かもしれない



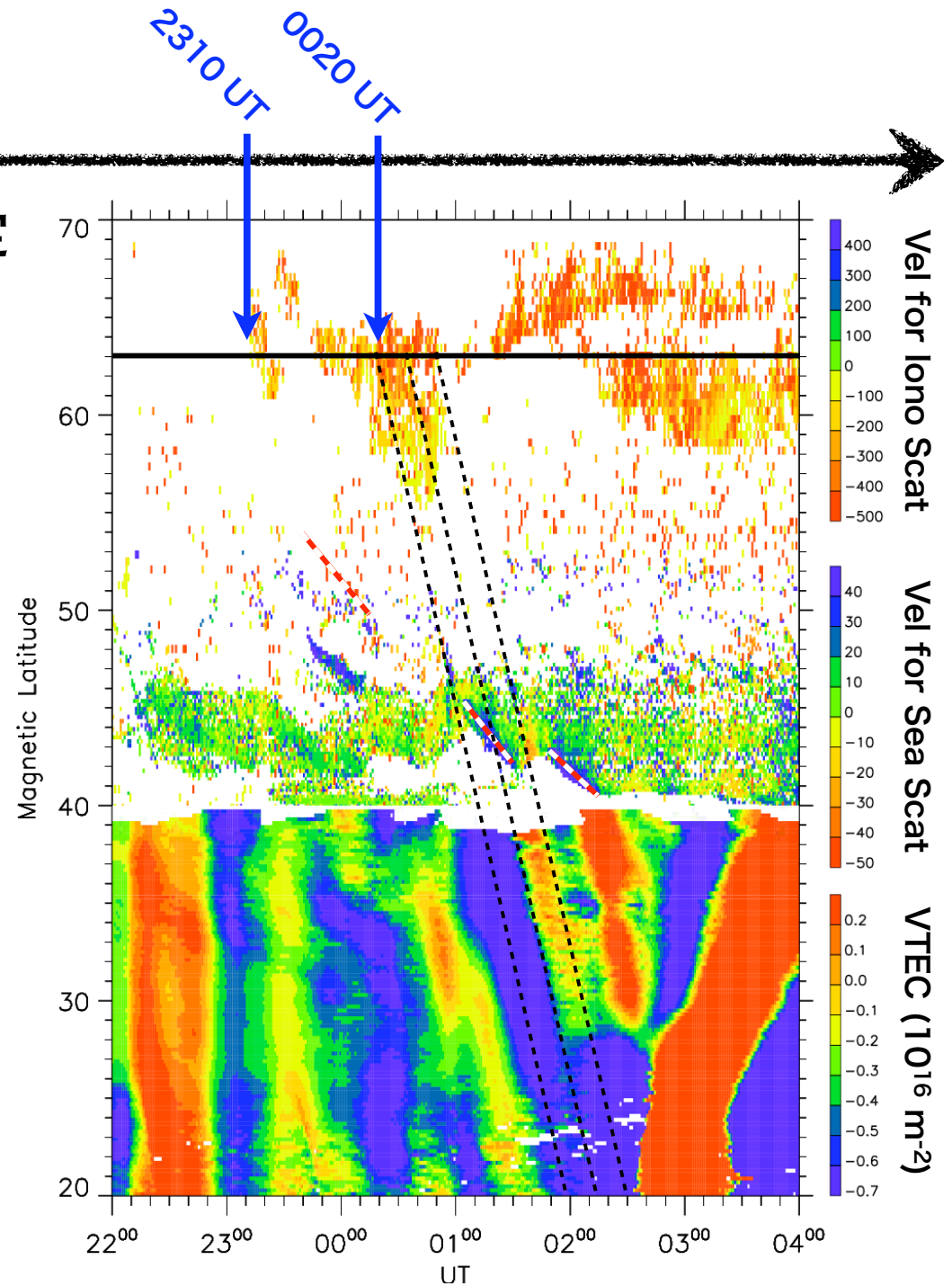
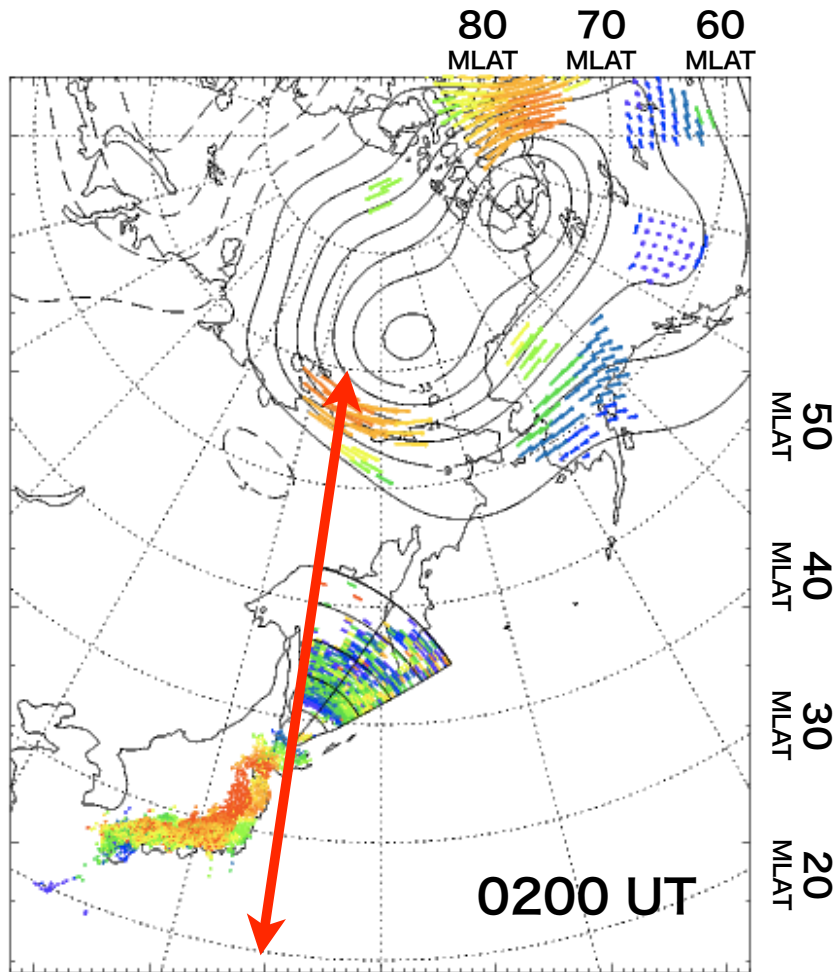
励起時刻 - Event 0

- ✓ 励起緯度は 65 MLAT と仮定
- ✓ 先に来る TEC 減少域の先端



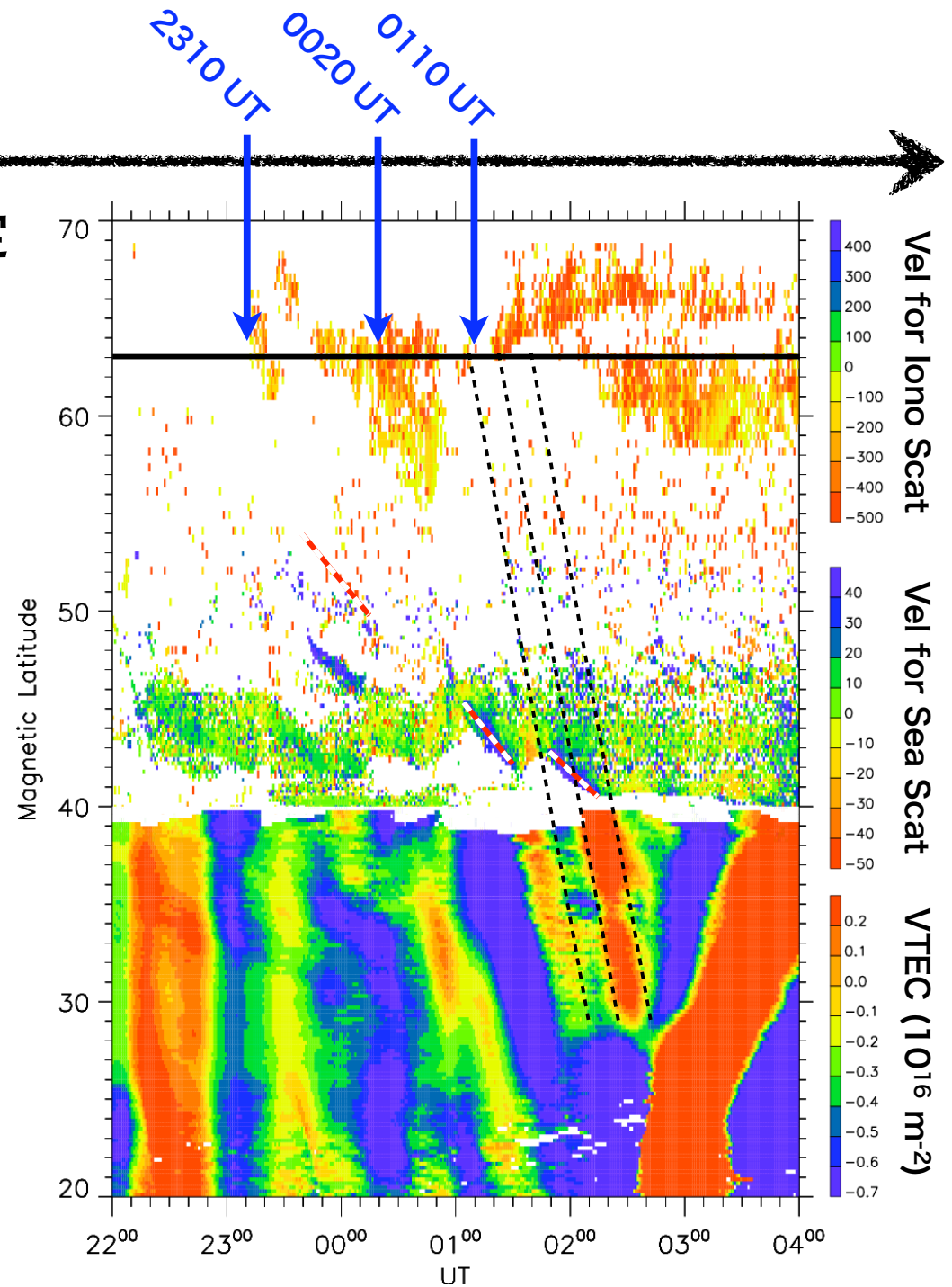
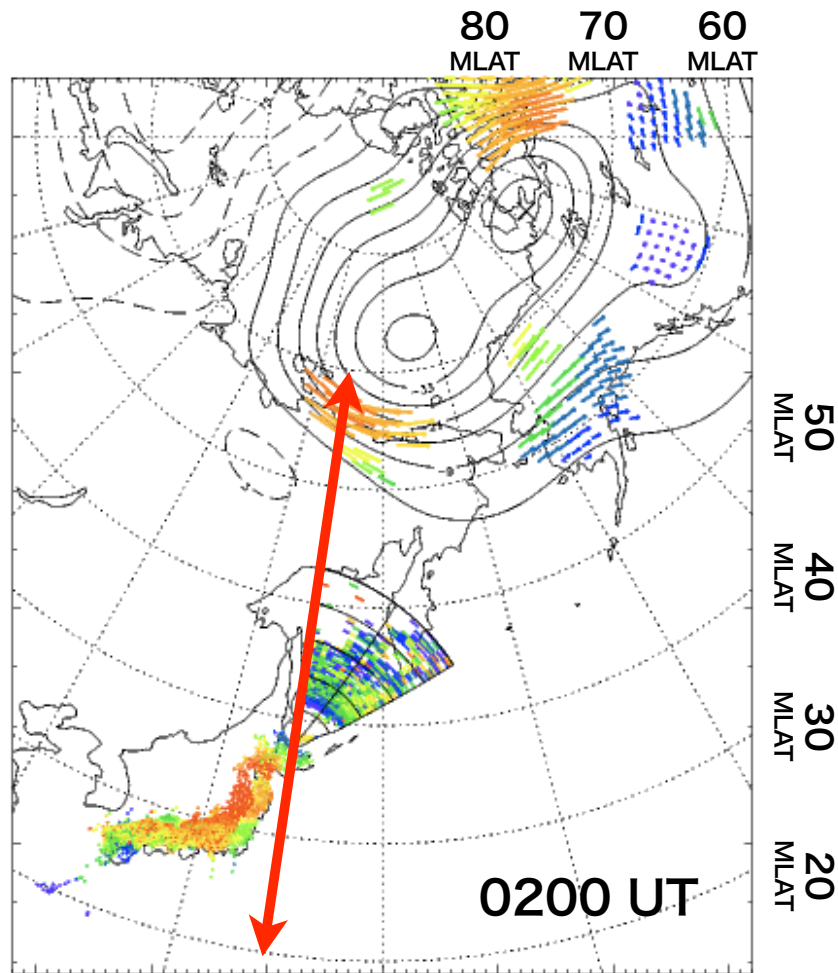
励起時刻 - Event 1

- ✓ 励起緯度は 65 MLAT と仮定
- ✓ 先に来る TEC 減少域の先端



励起時刻 - Event 2

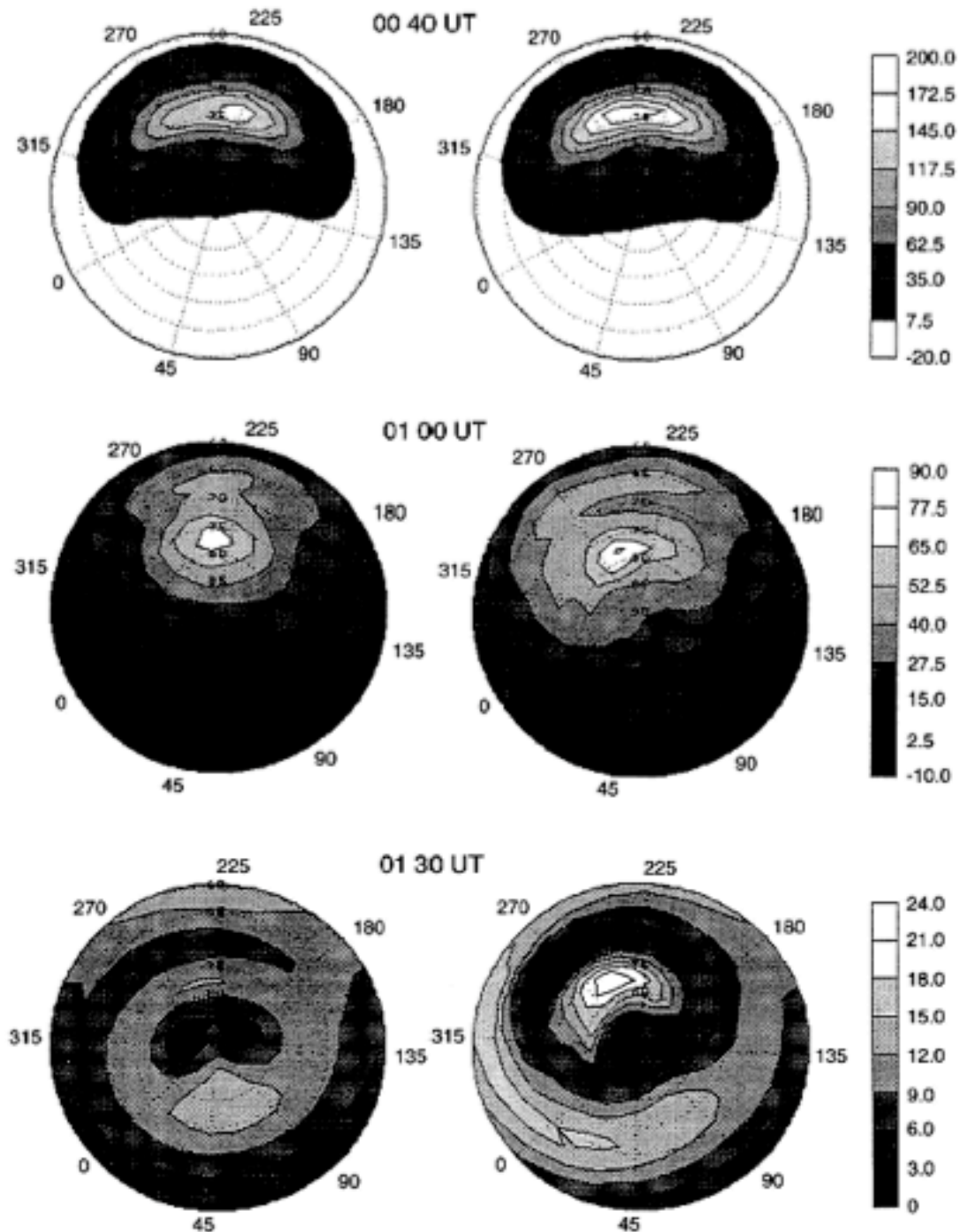
- ✓ 励起緯度は 65 MLAT と仮定
- ✓ 先に来る TEC 減少域の先端



犯人さがし

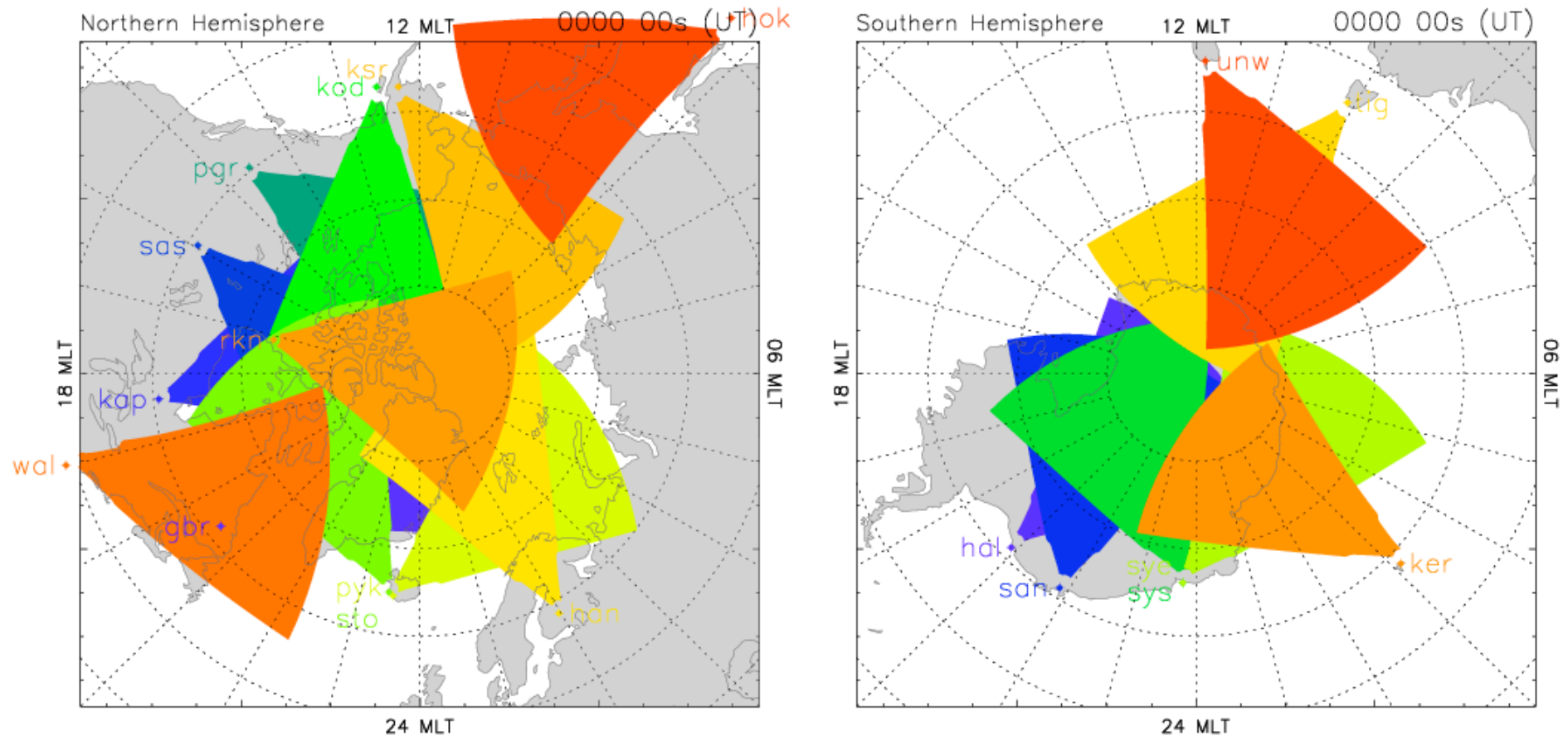
- ✓ ジュール加熱
急激な電場の増大
カusp電離圏対流の
時間変動が重要

- ✓ 粒子加熱
低エネルギー粒子降下
だけでも OK ?

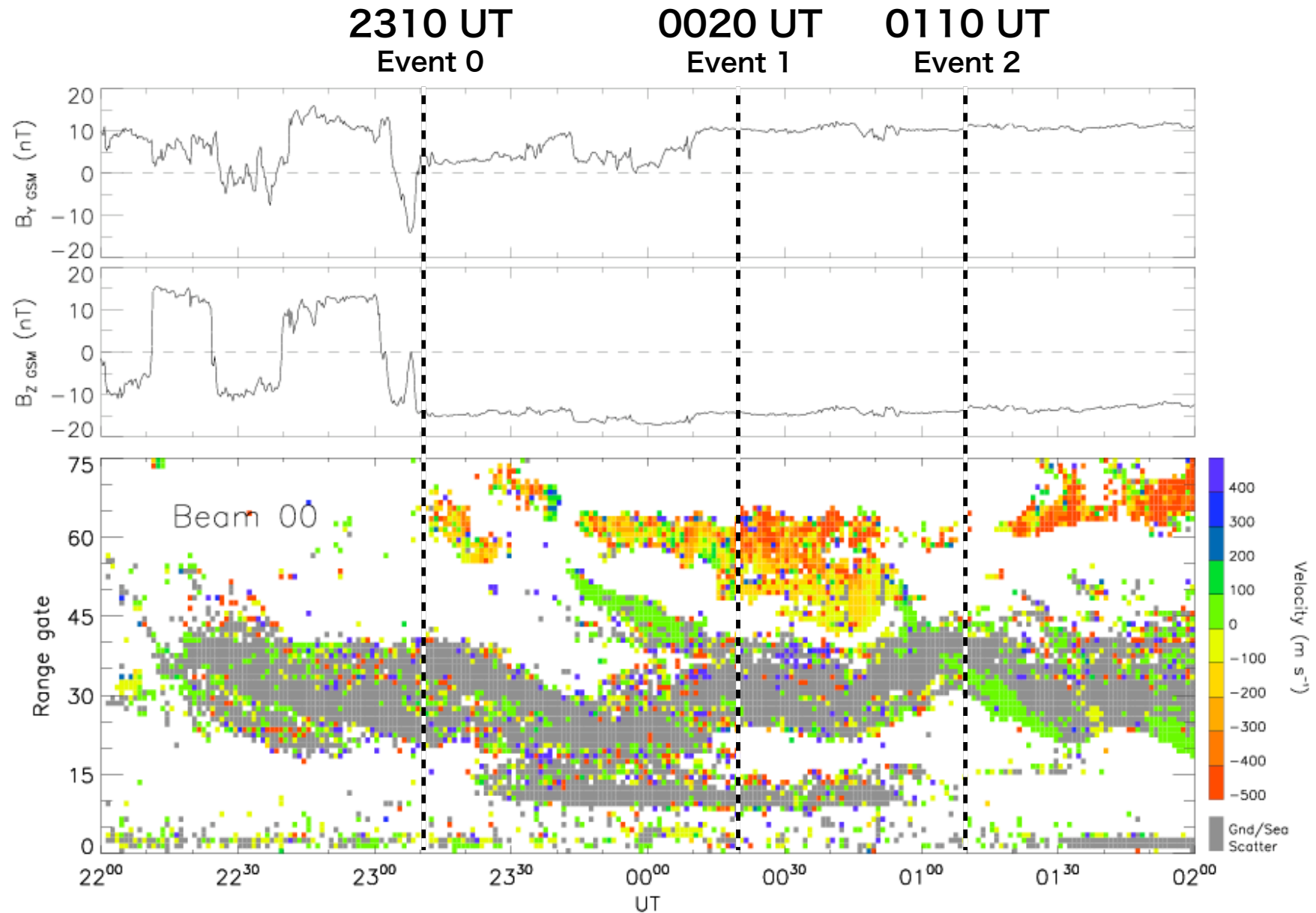


北海道レーダーによる対流観測

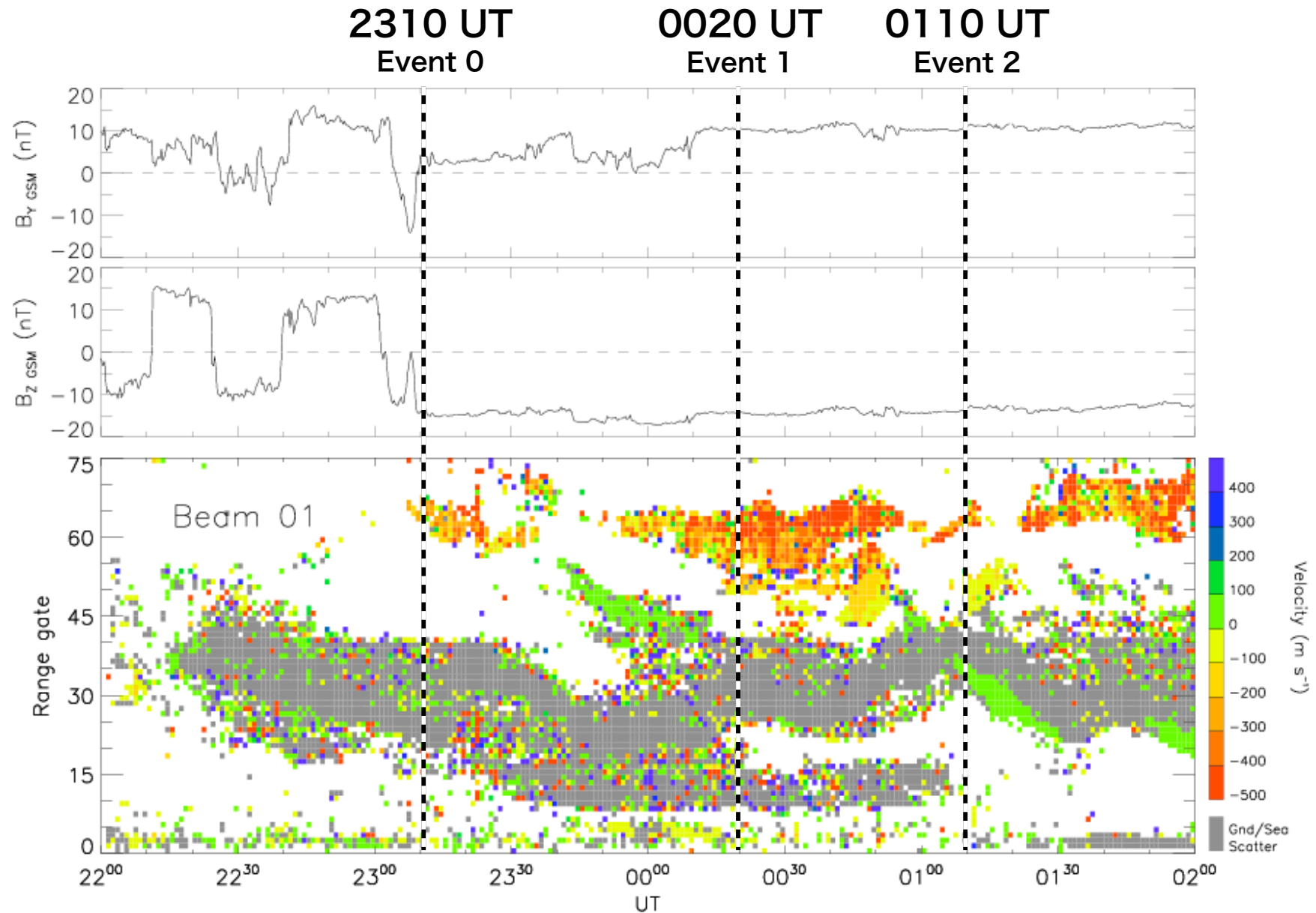
- ✓ 2310 UT, 0020 UT, 0110 UT の 3 つの推定励起時刻に着目
- ✓ 北海道レーダーは pre-noon のセクターを観測していた
- ✓ 何らかのプラズマ対流の時間変化があるか？



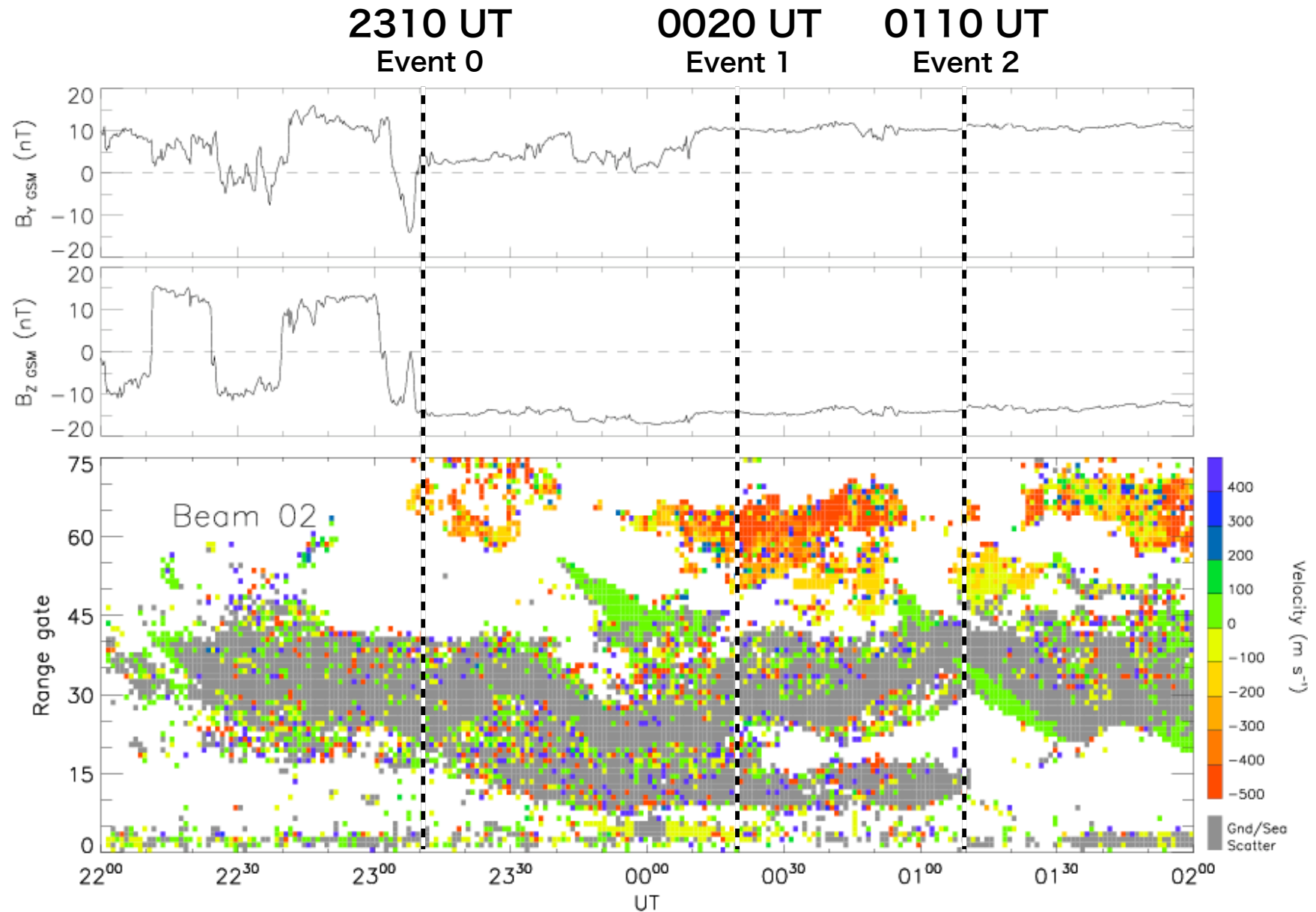
北海道レーダーによる対流観測



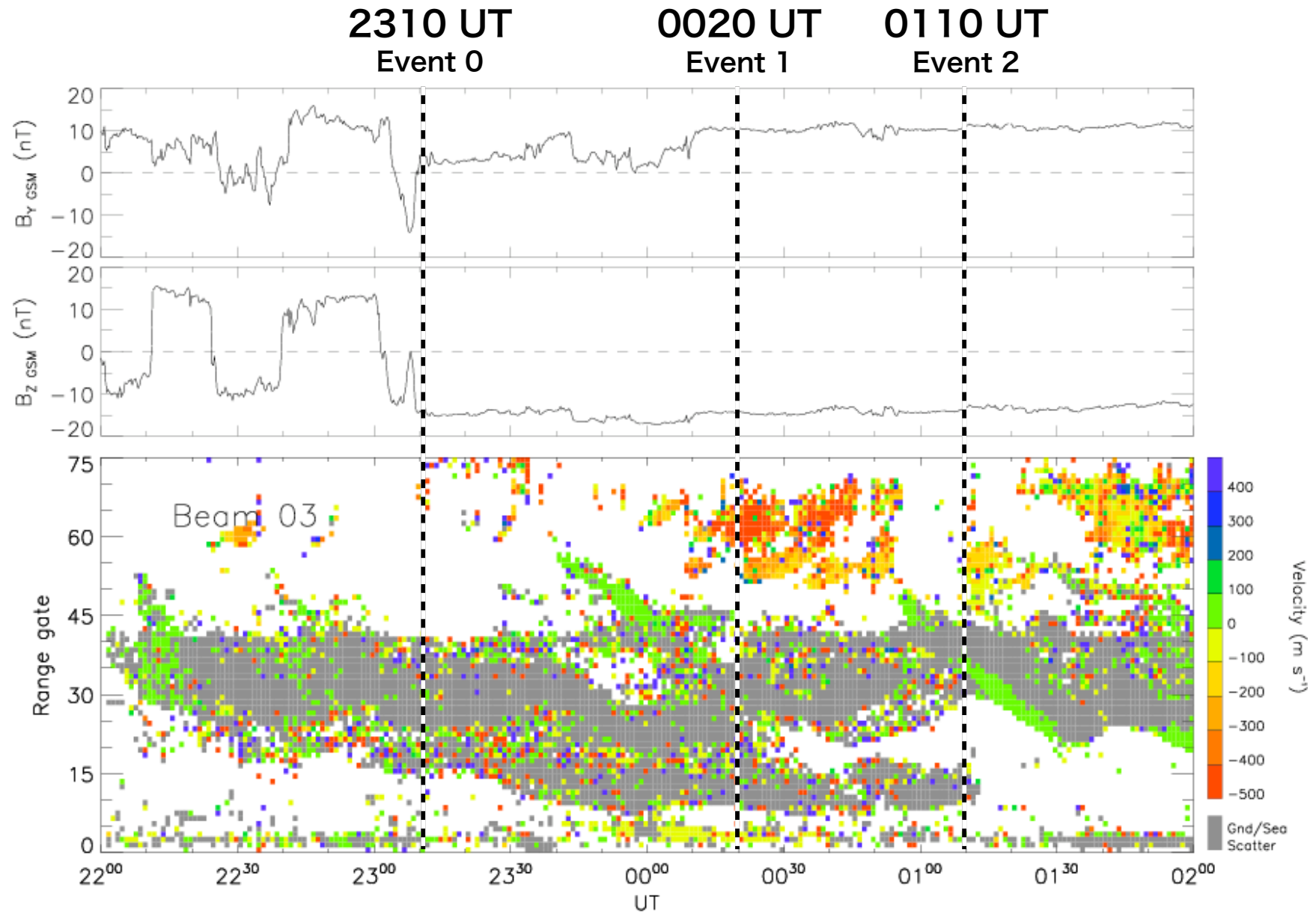
北海道レーダーによる対流観測



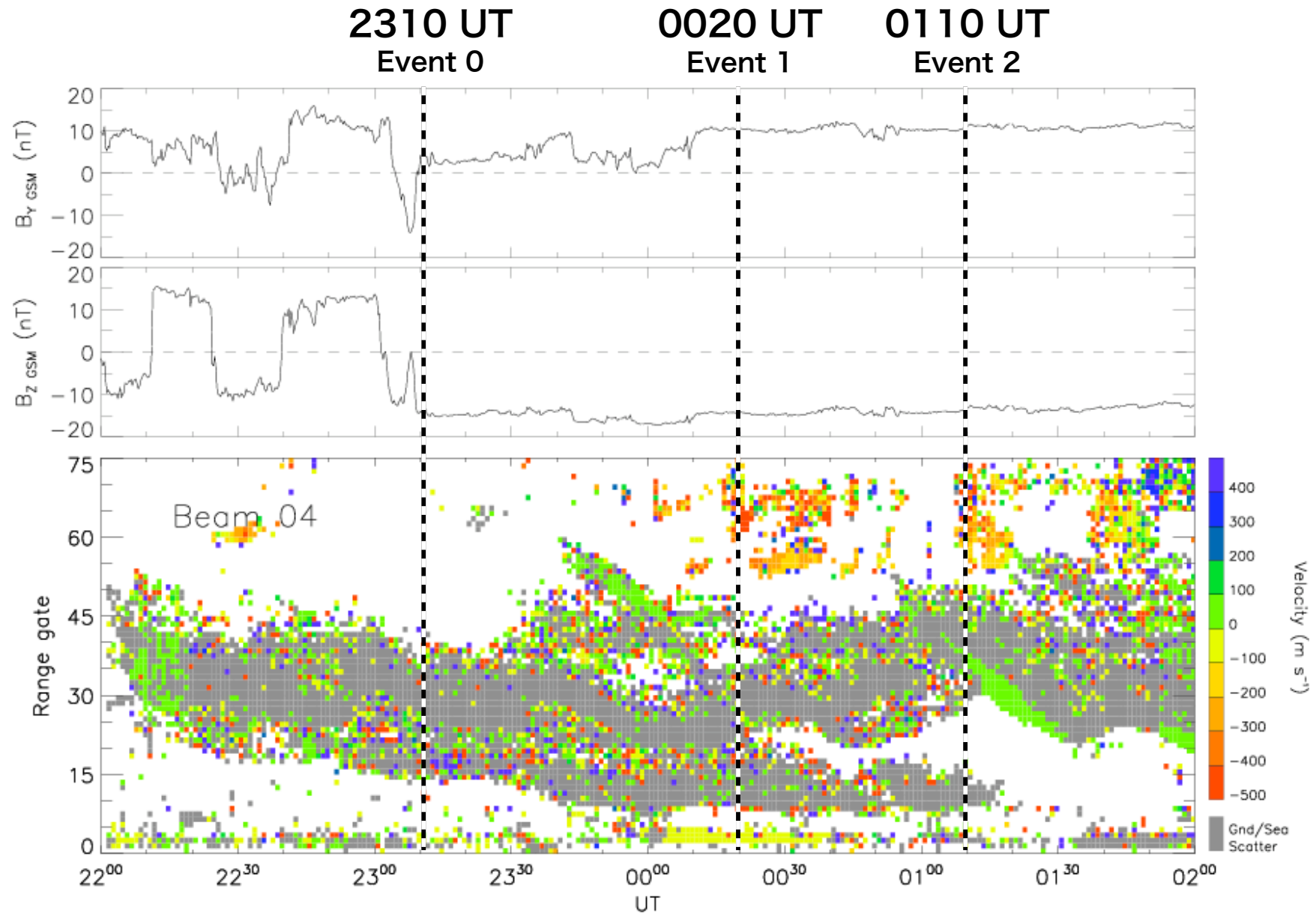
北海道レーダーによる対流観測



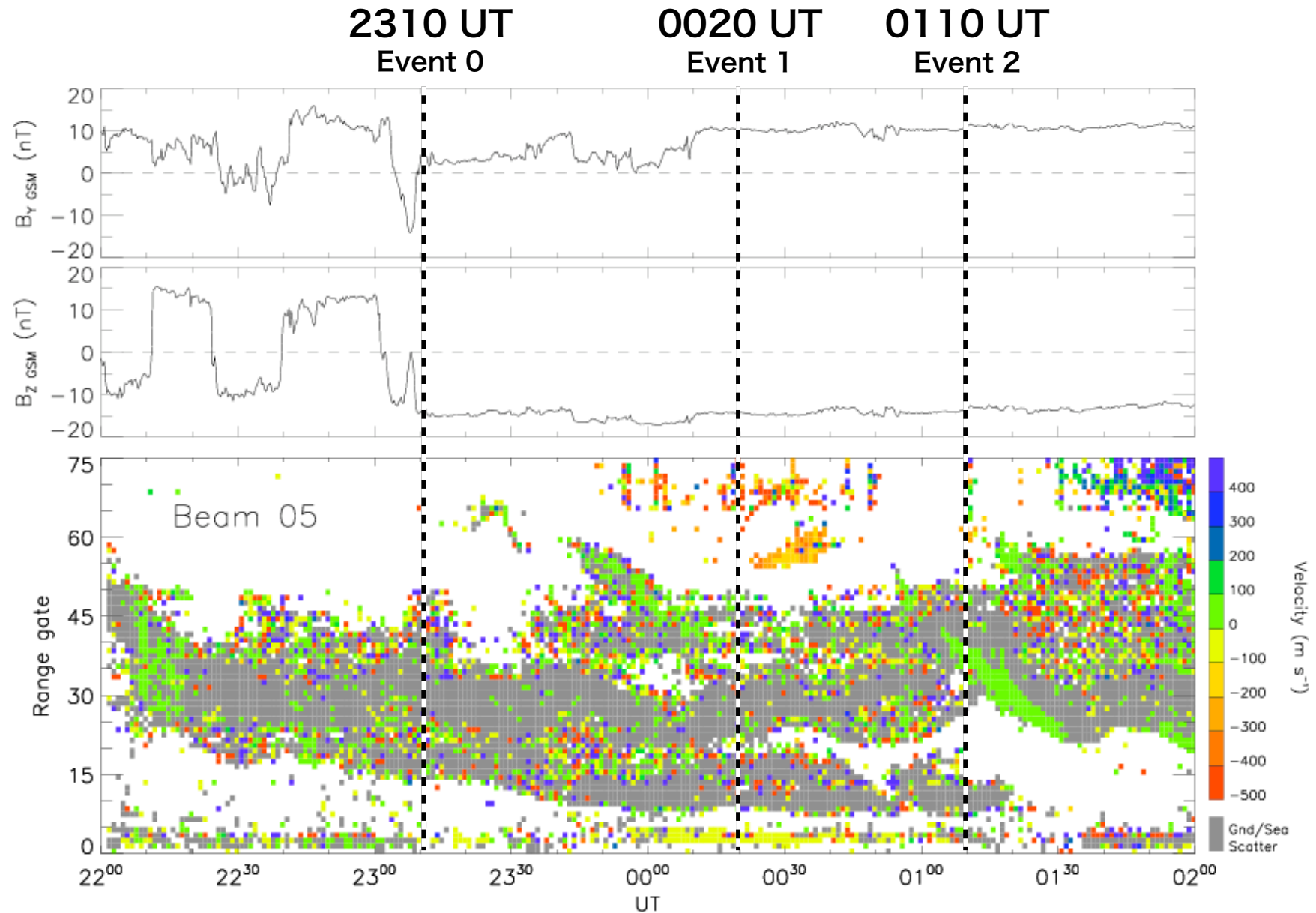
北海道レーダーによる対流観測



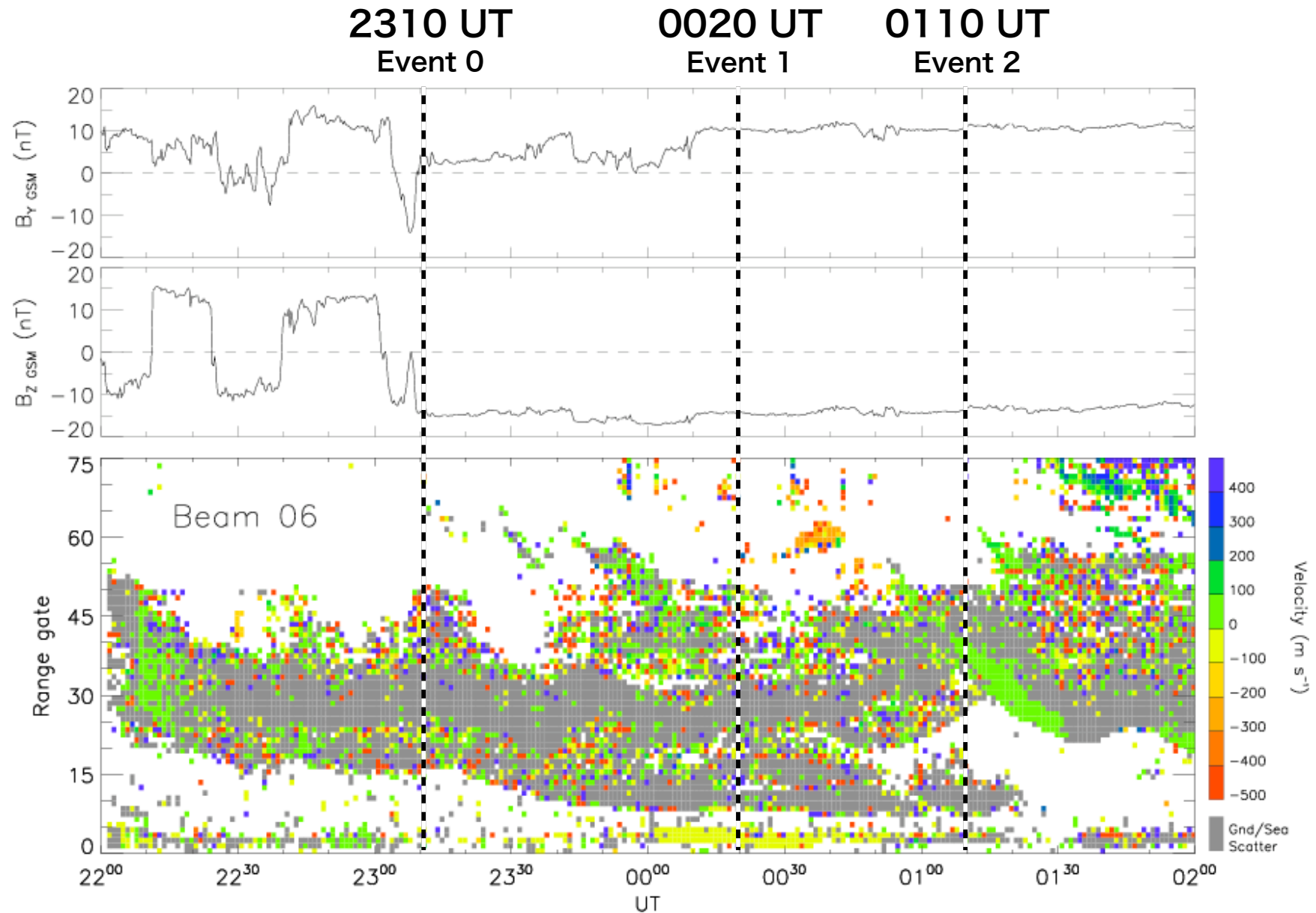
北海道レーダーによる対流観測



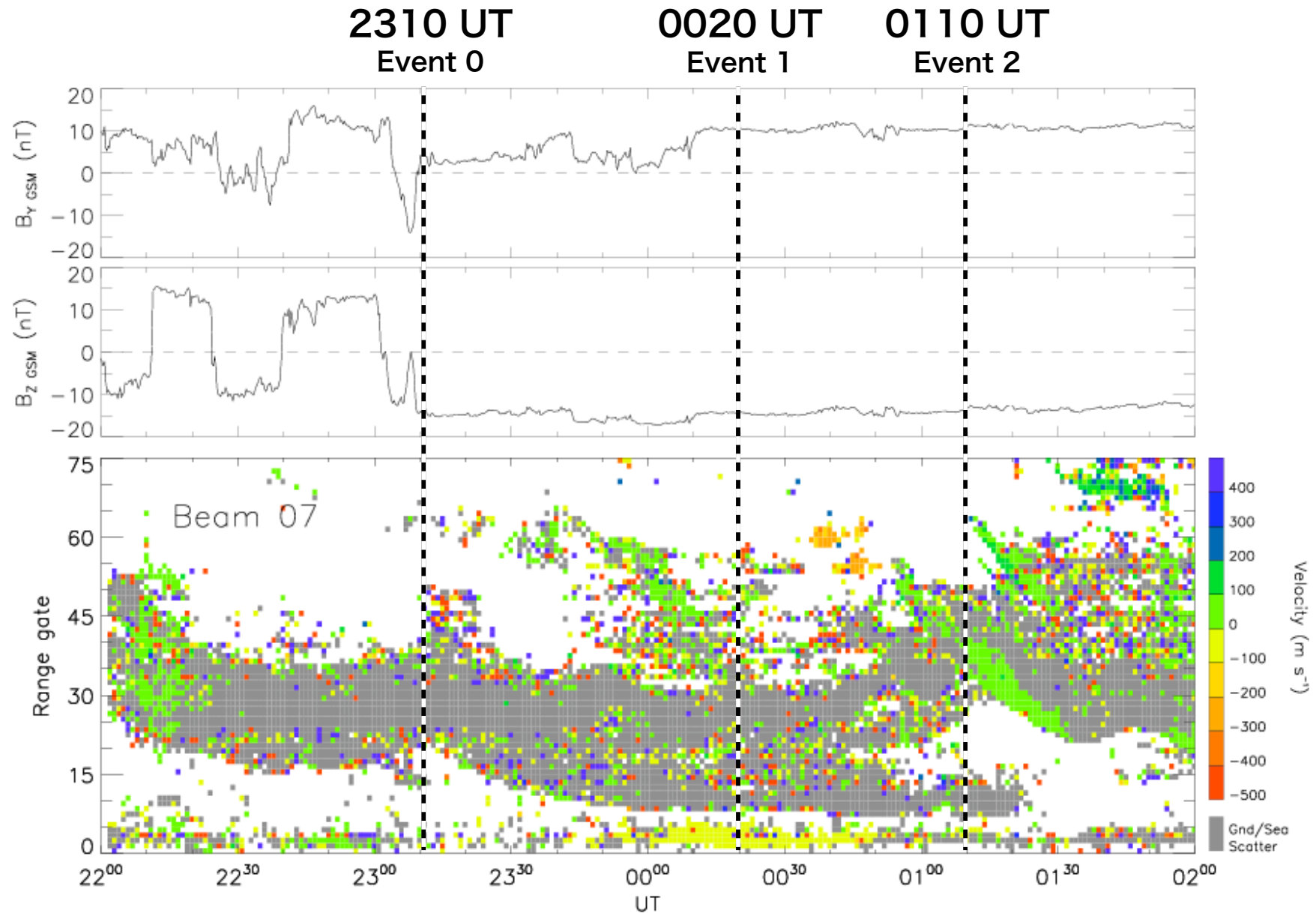
北海道レーダーによる対流観測



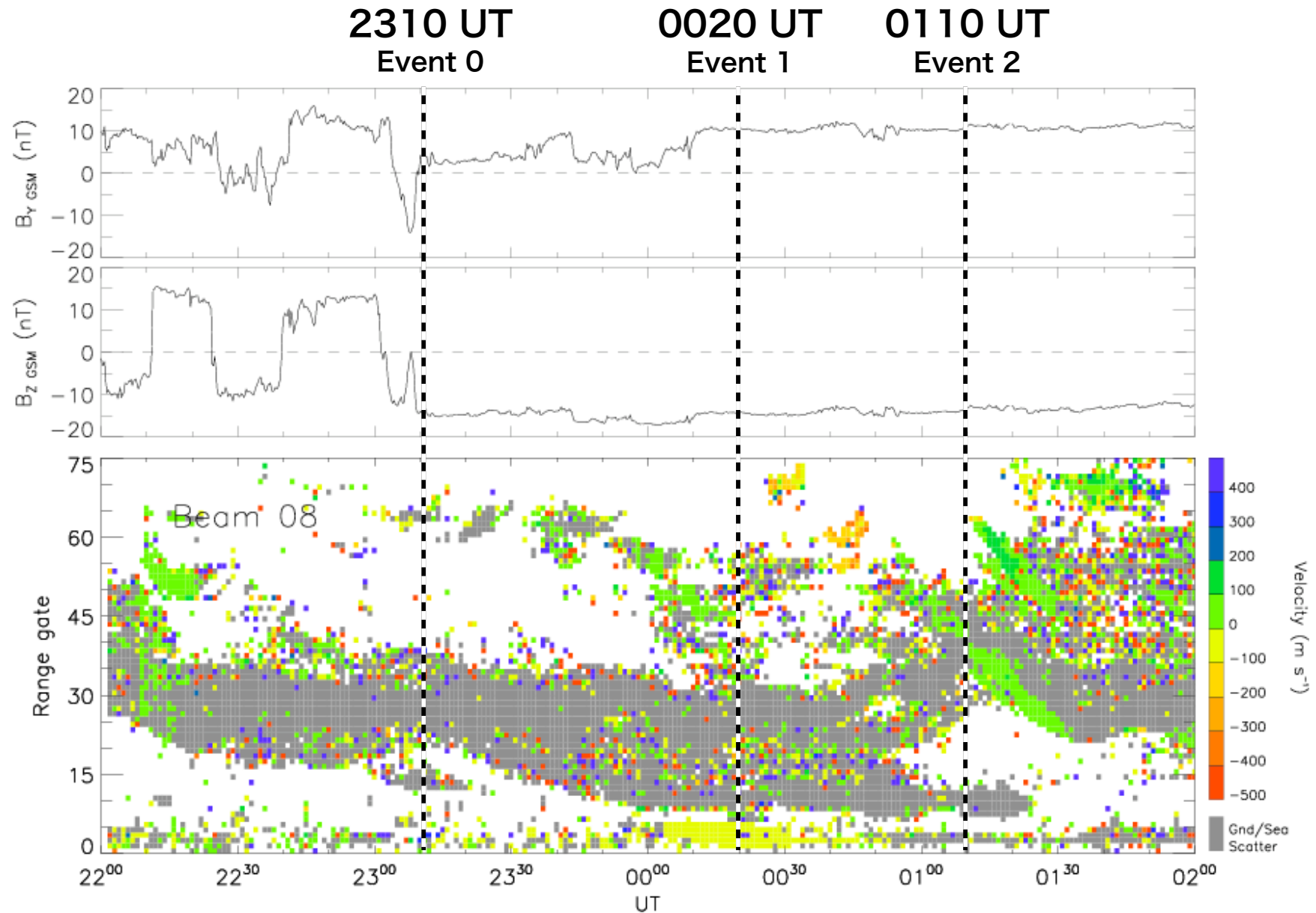
北海道レーダーによる対流観測



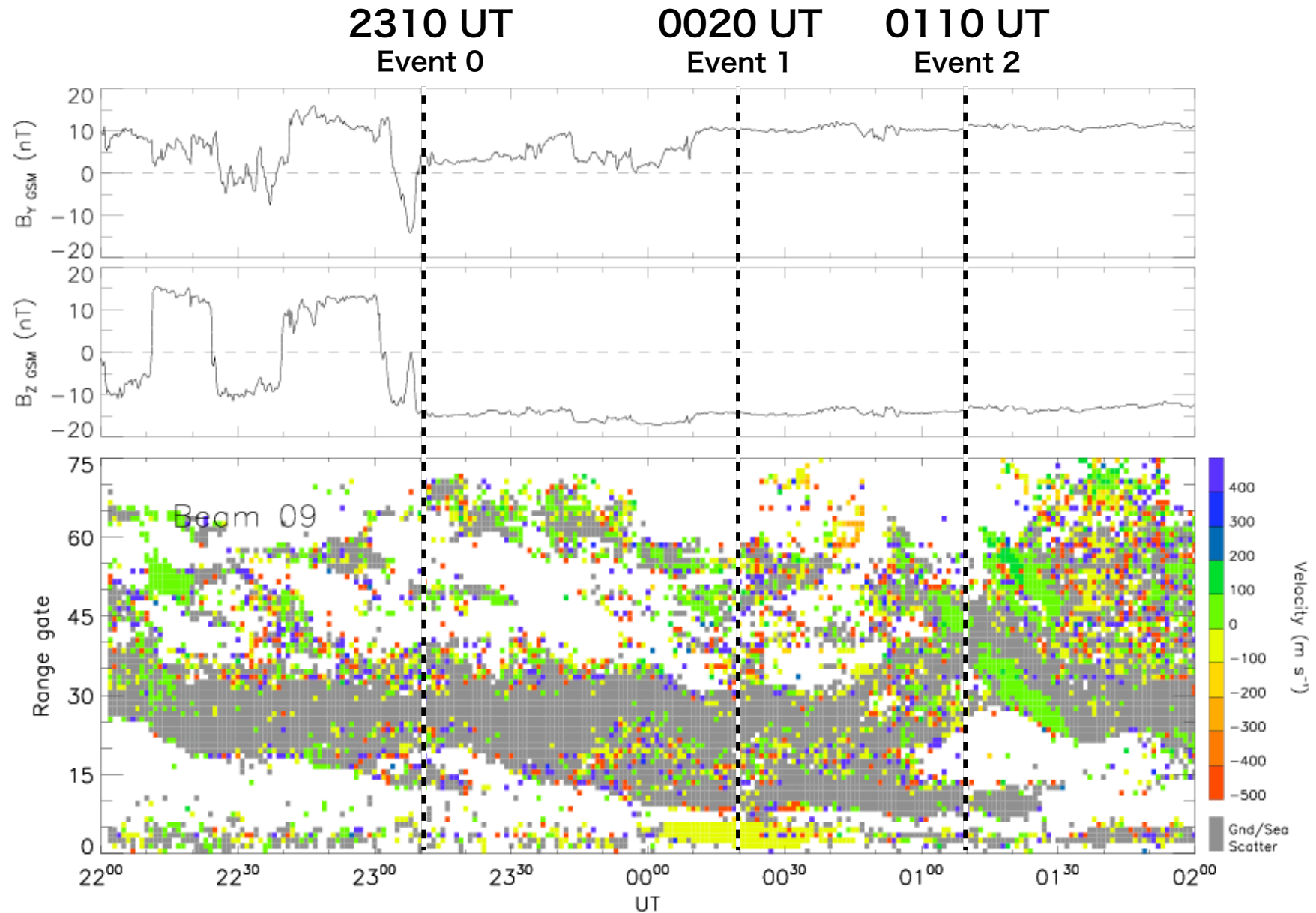
北海道レーダーによる対流観測



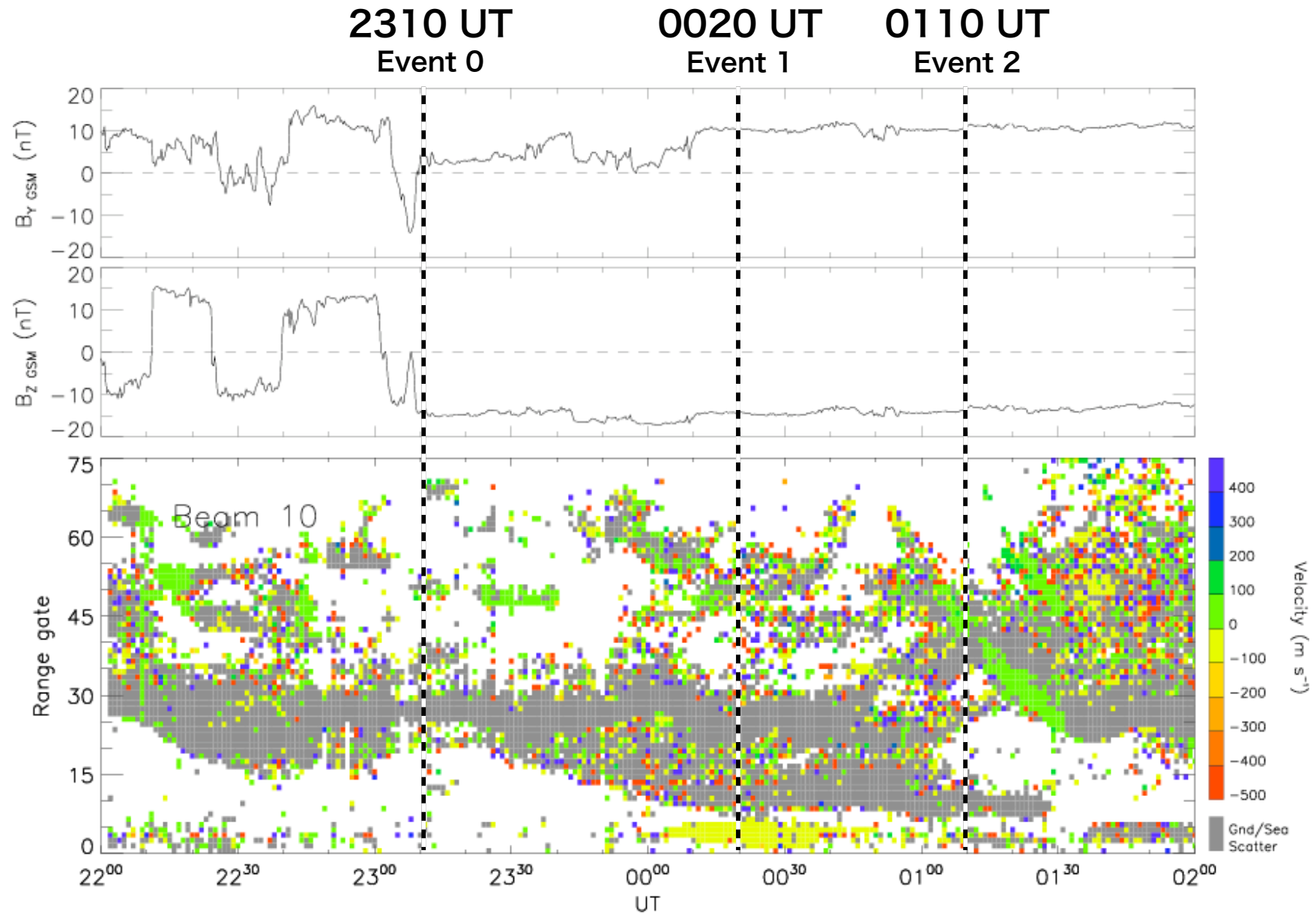
北海道レーダーによる対流観測



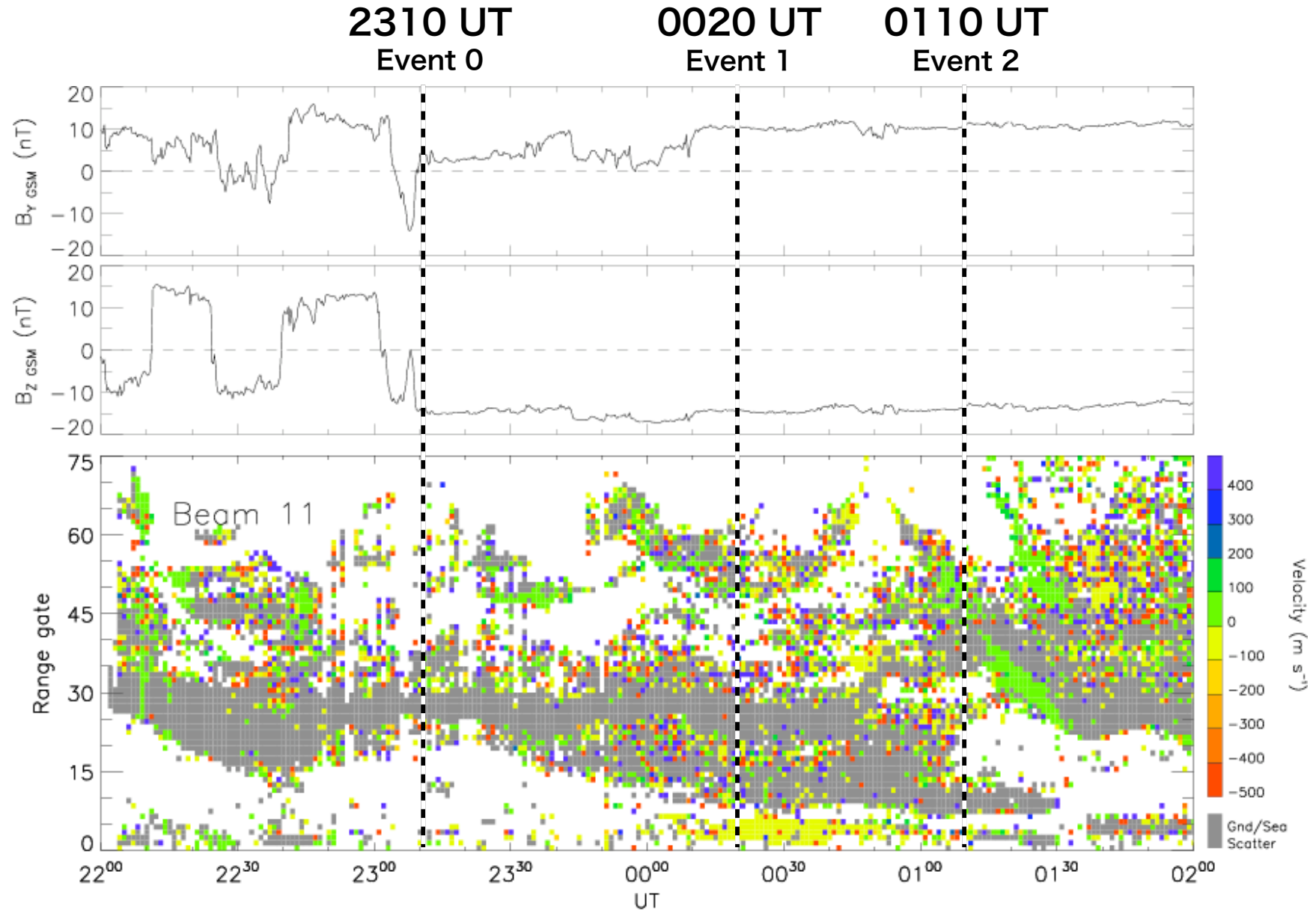
北海道レーダーによる対流観測



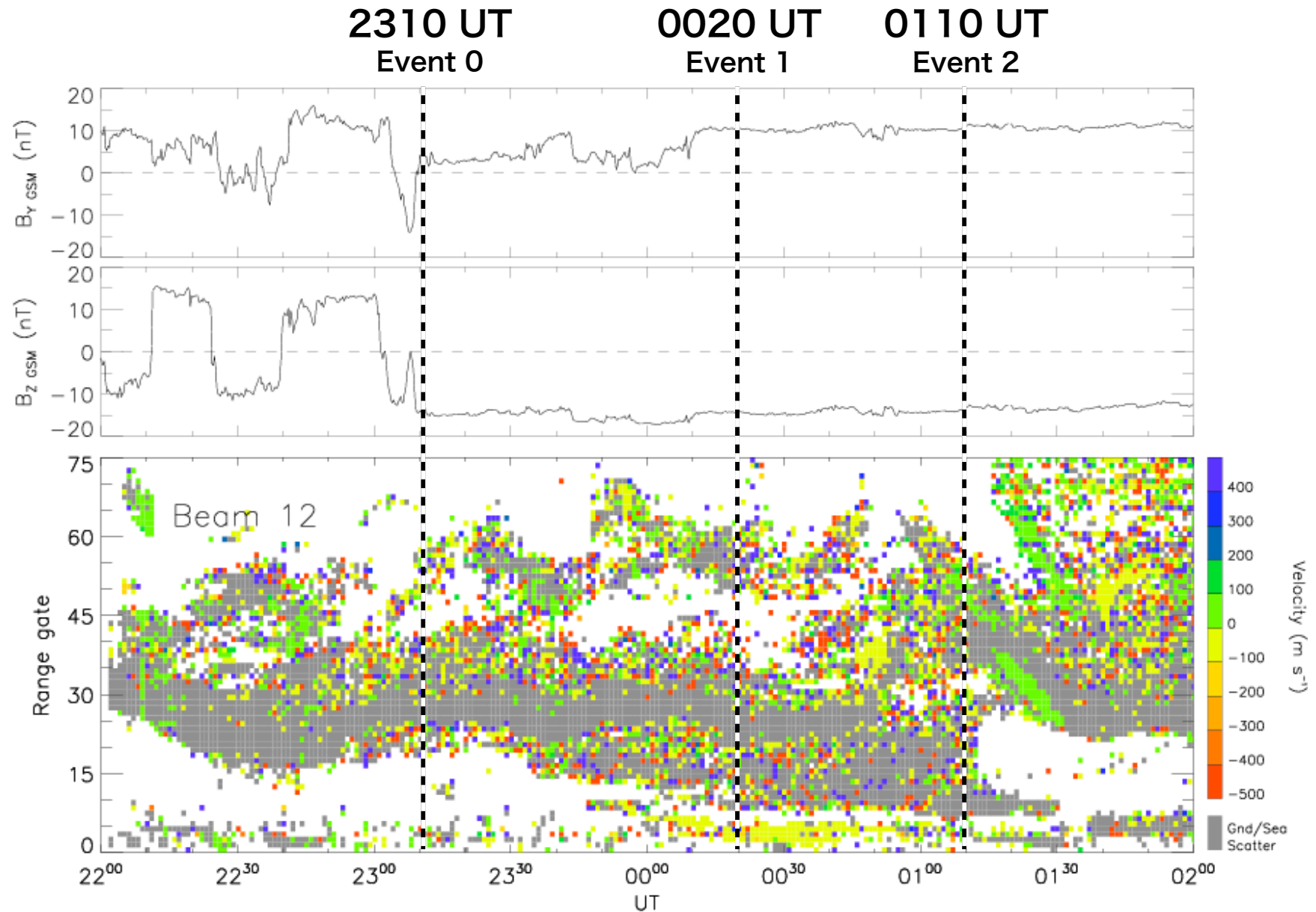
北海道レーダーによる対流観測



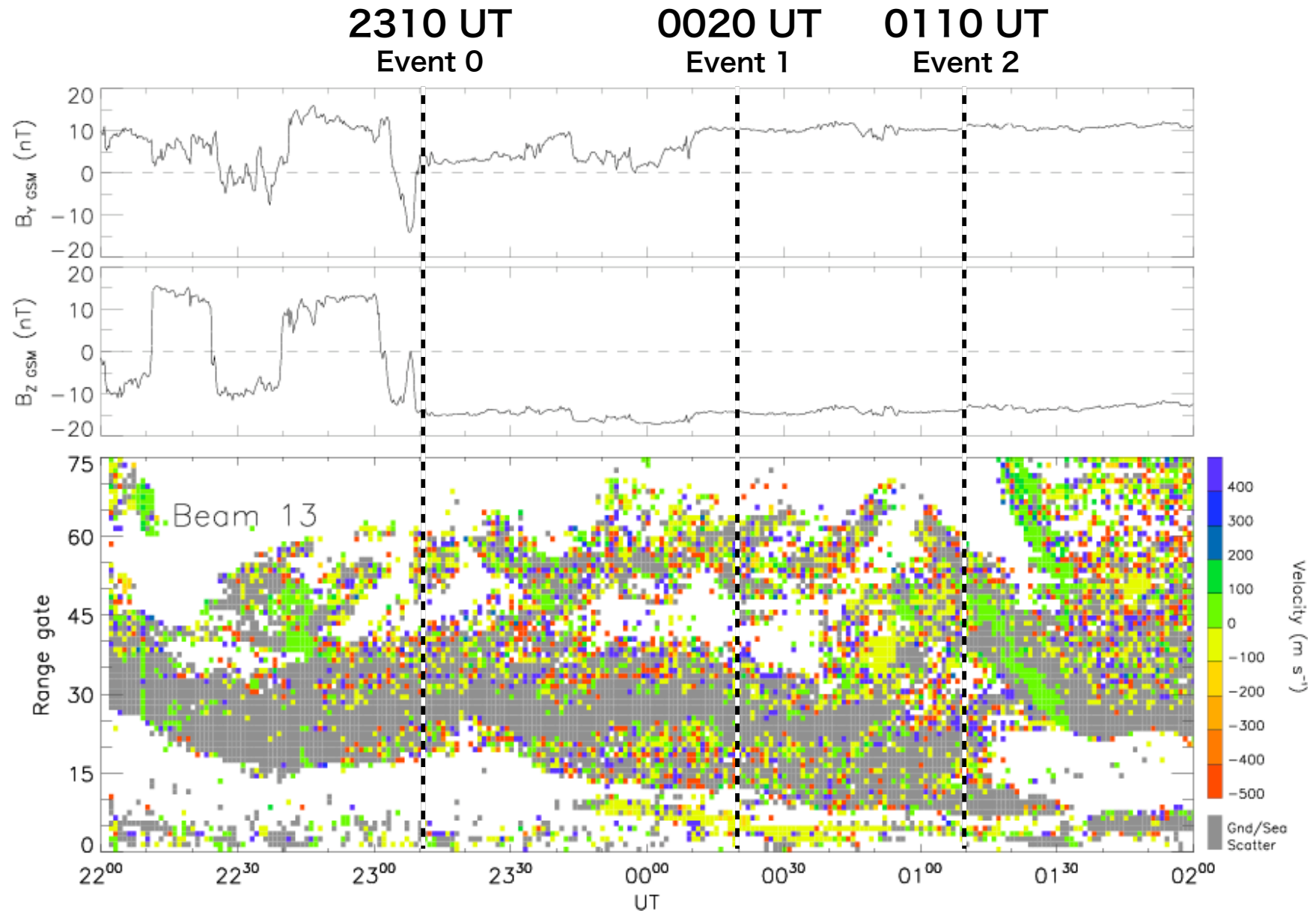
北海道レーダーによる対流観測



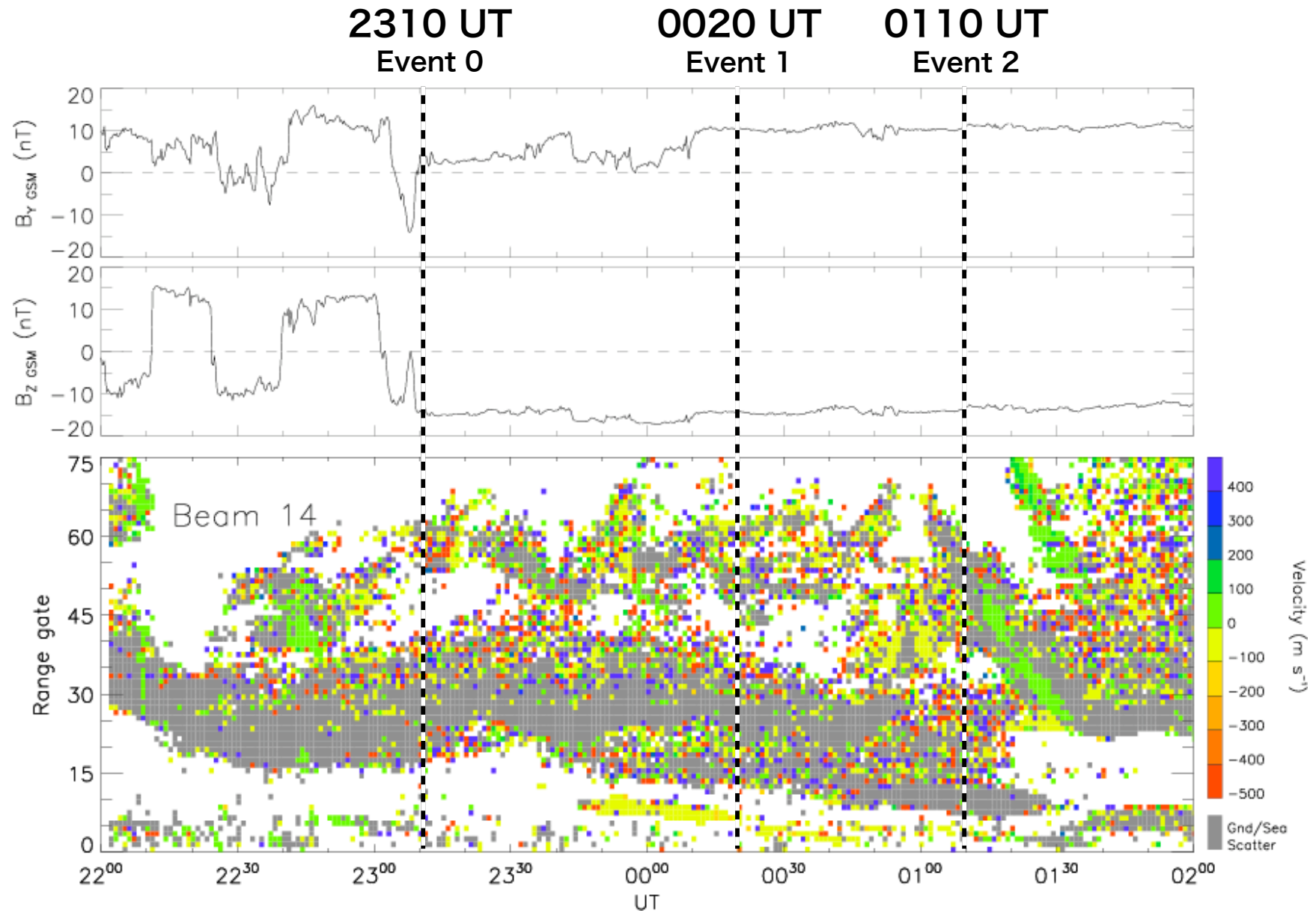
北海道レーダーによる対流観測



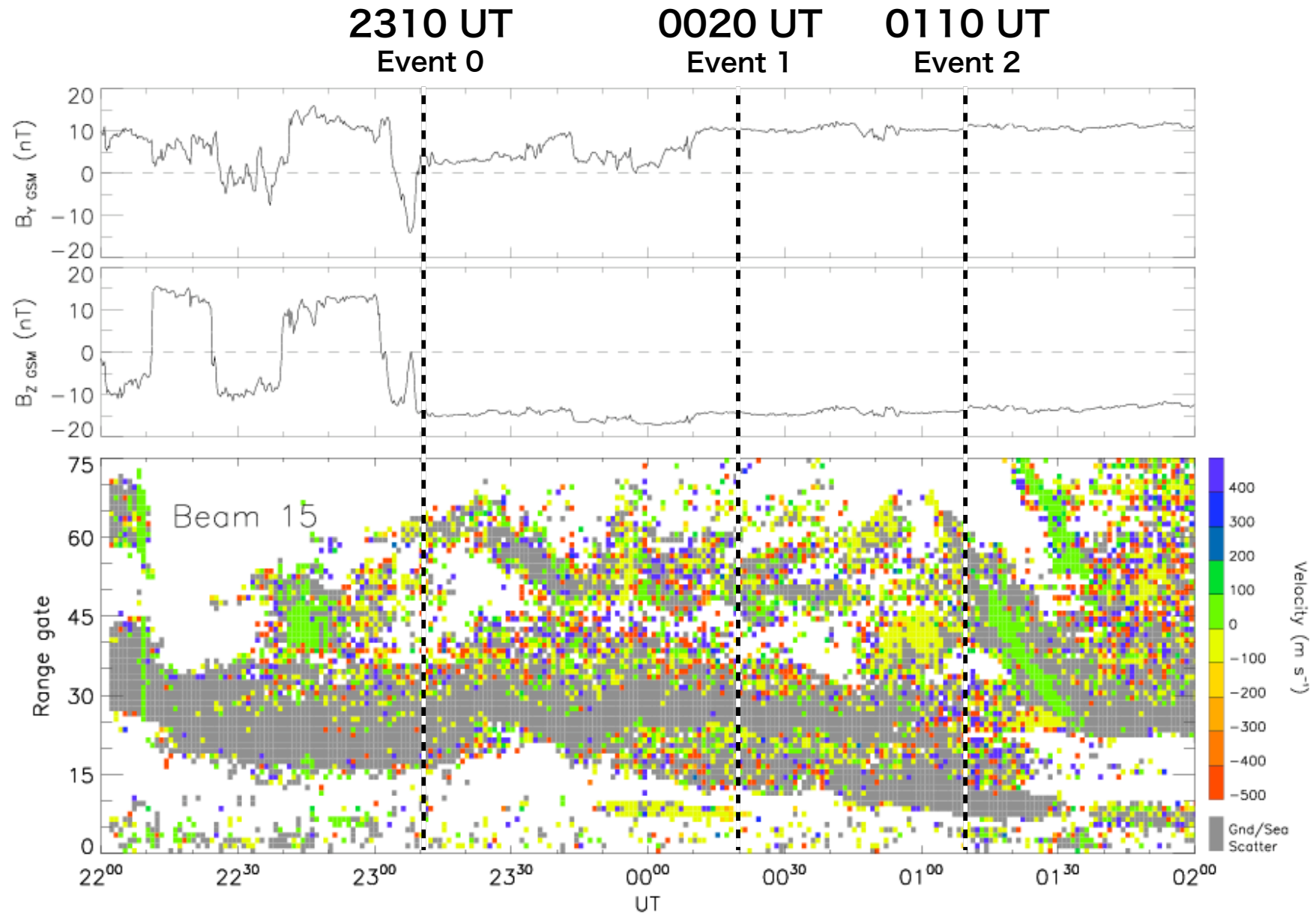
北海道レーダーによる対流観測



北海道レーダーによる対流観測

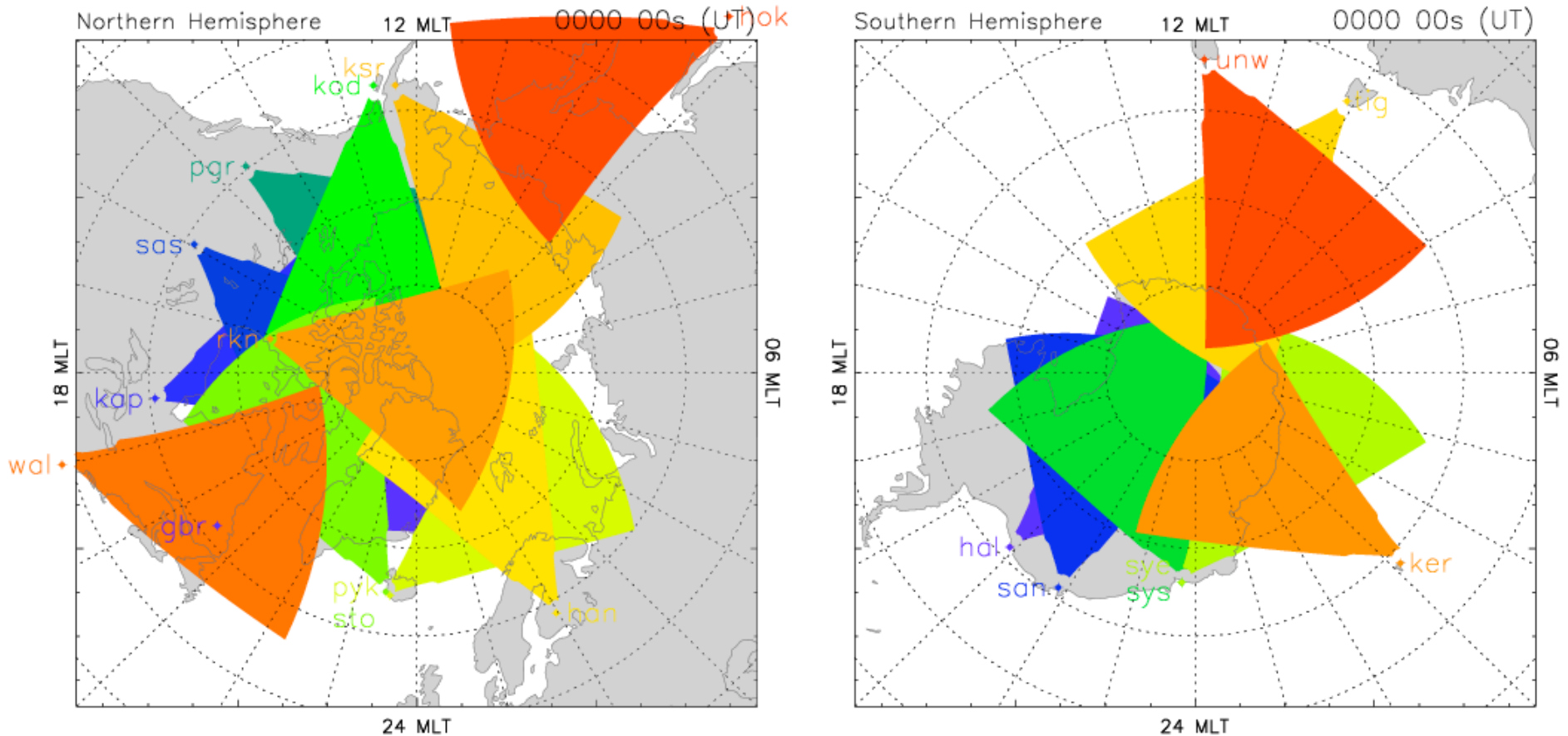


北海道レーダーによる対流観測

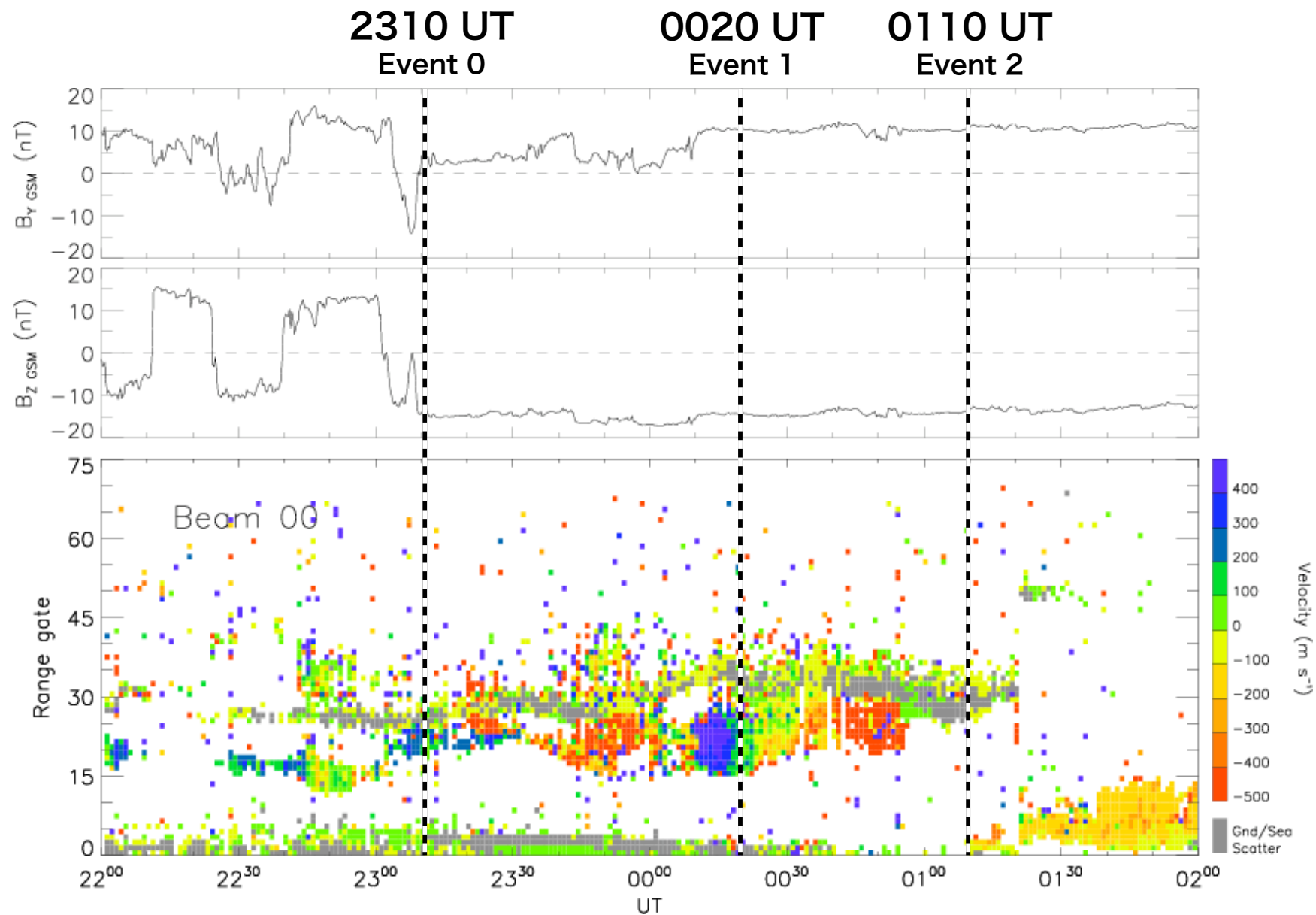


キングサーモンレーダーによる対流観測

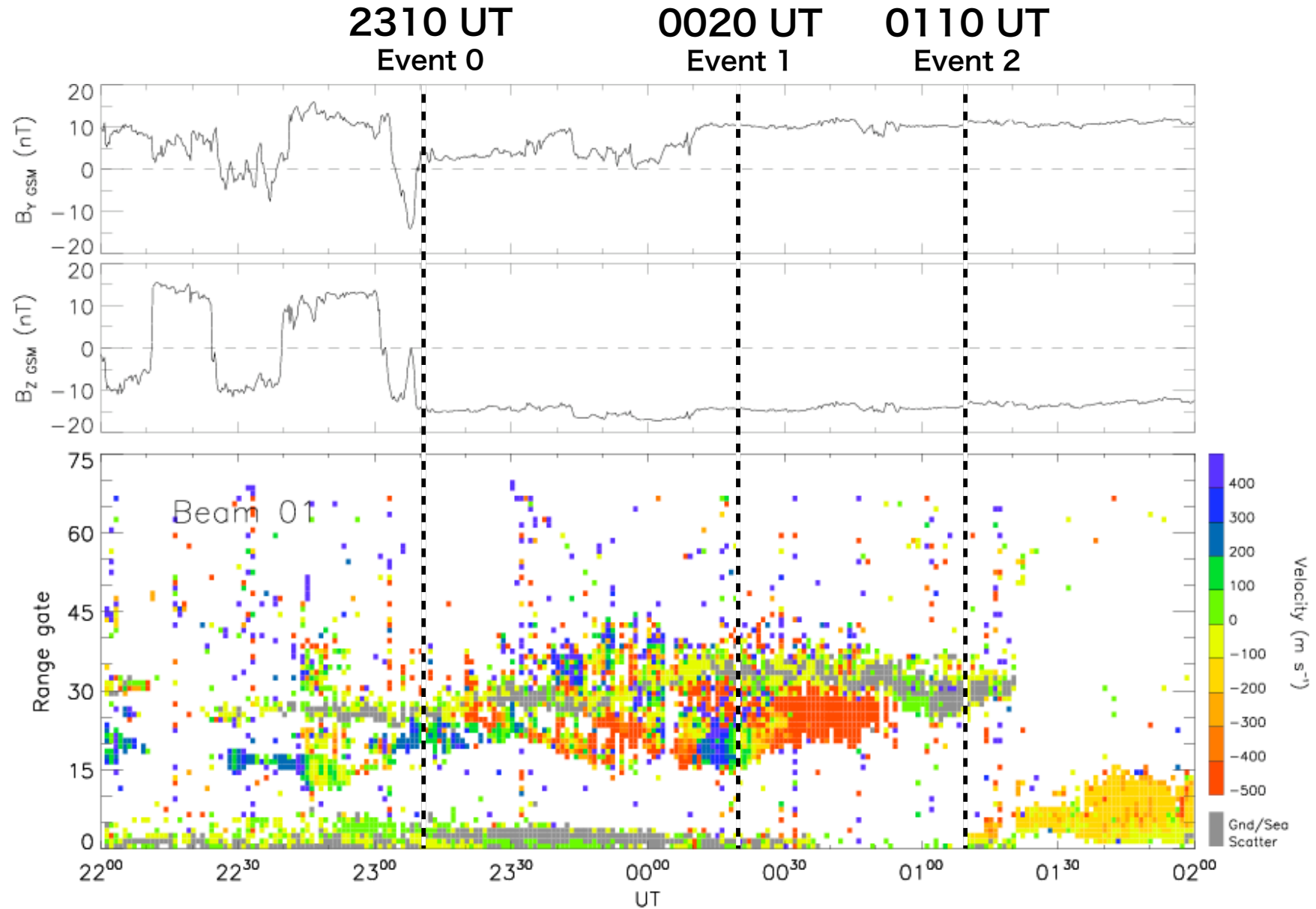
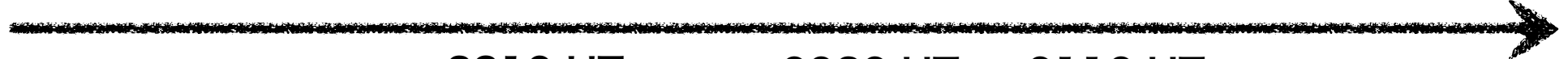
- ✓ 2310 UT, 0020 UT, 0110 UT の 3 つの推定励起時刻に着目
- ✓ キングサーモンレーダーは noon セクターを観測していた
- ✓ 何らかのプラズマ対流の時間変化があるか?



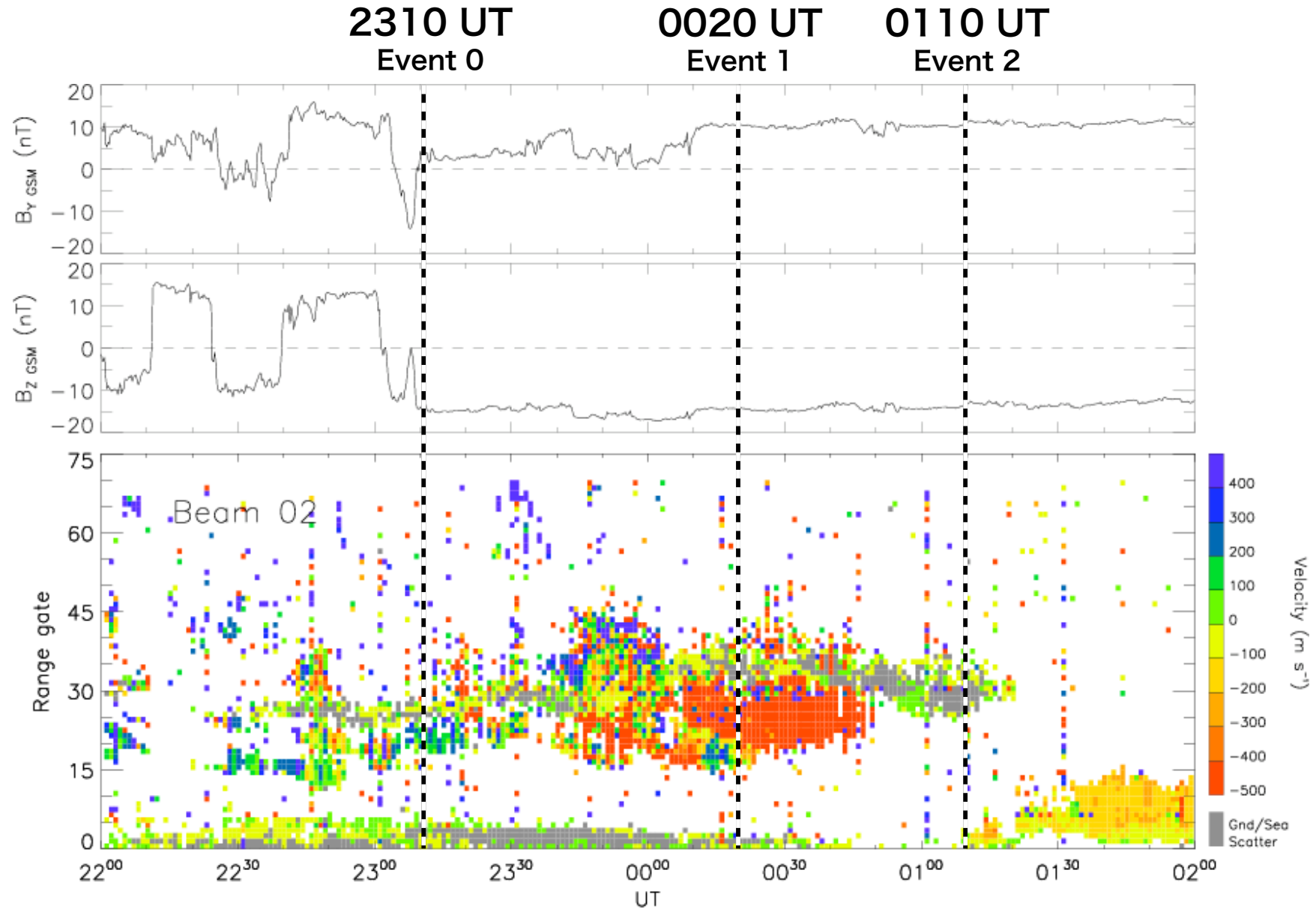
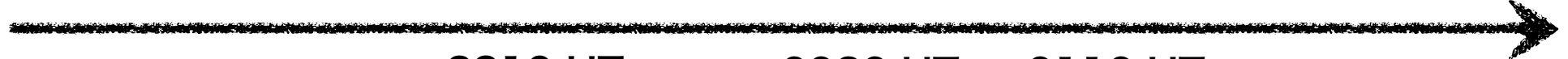
キングサーモンレーダーによる対流観測



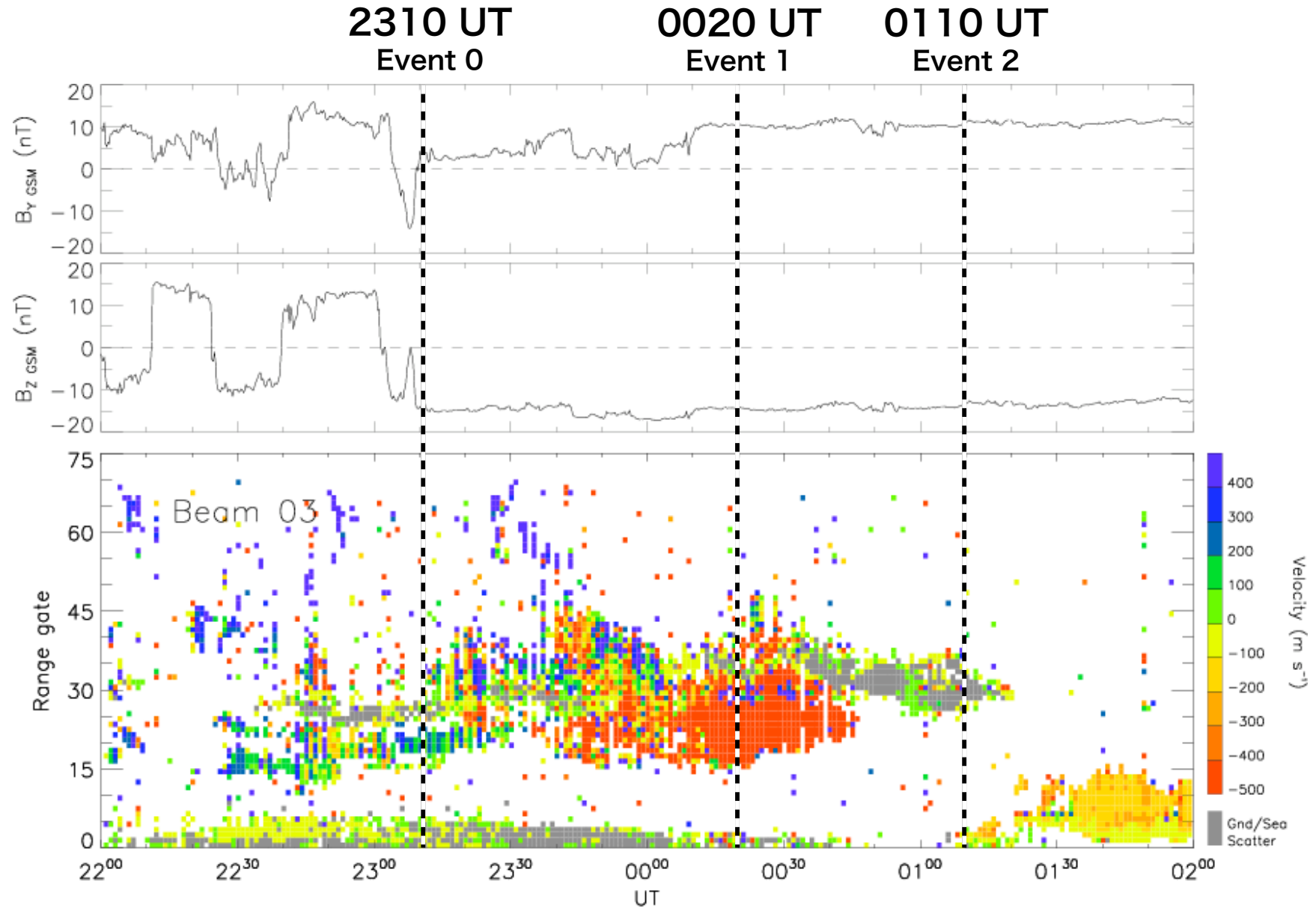
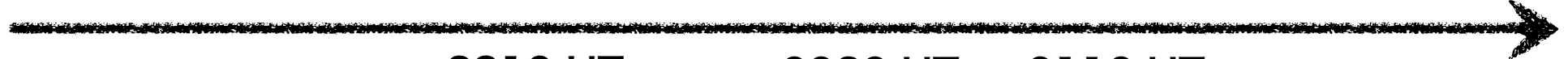
キングサーモンレーダーによる対流観測



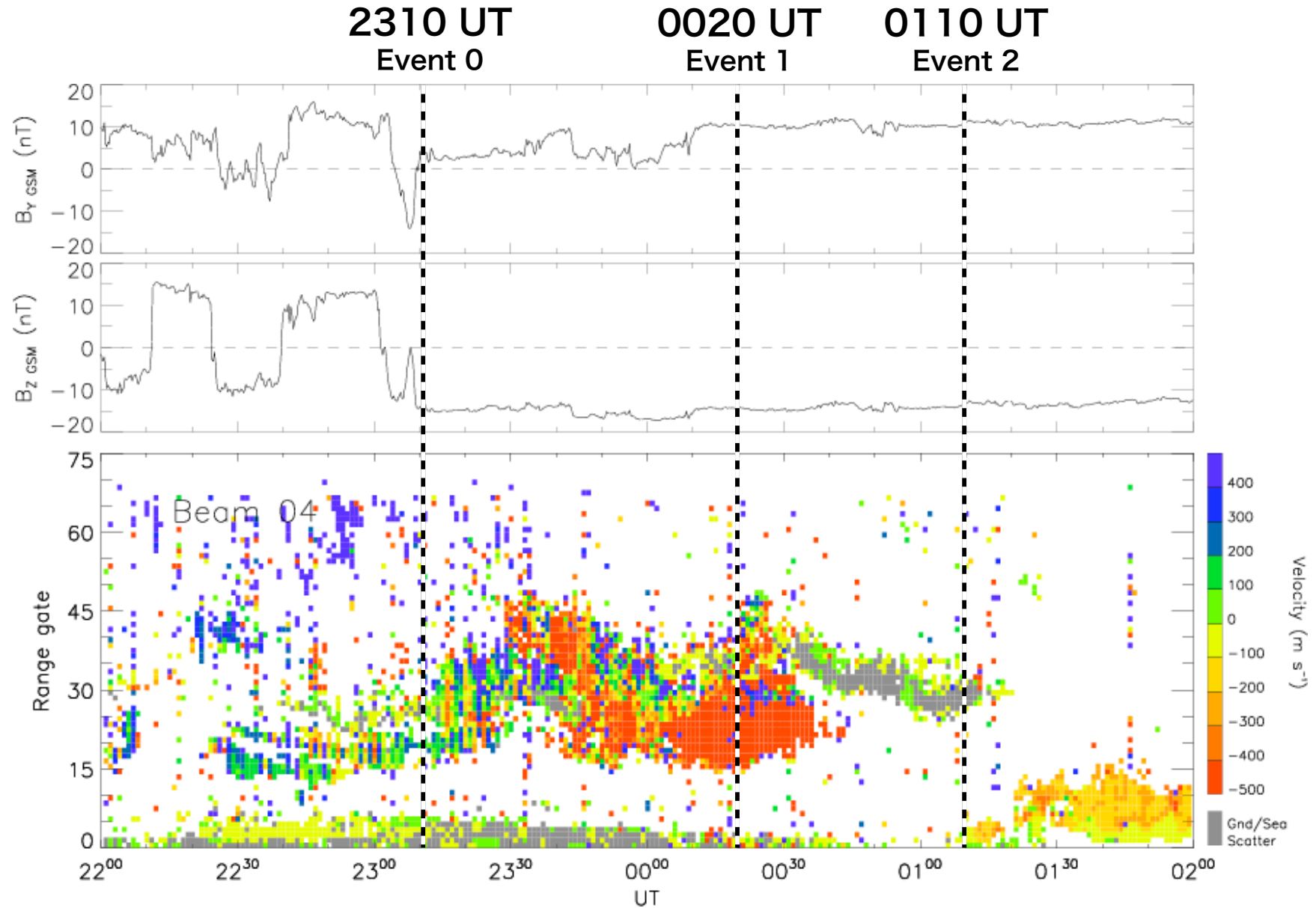
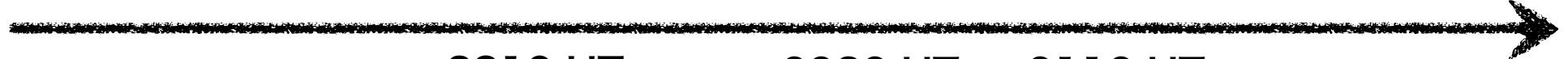
キングサーモンレーダーによる対流観測



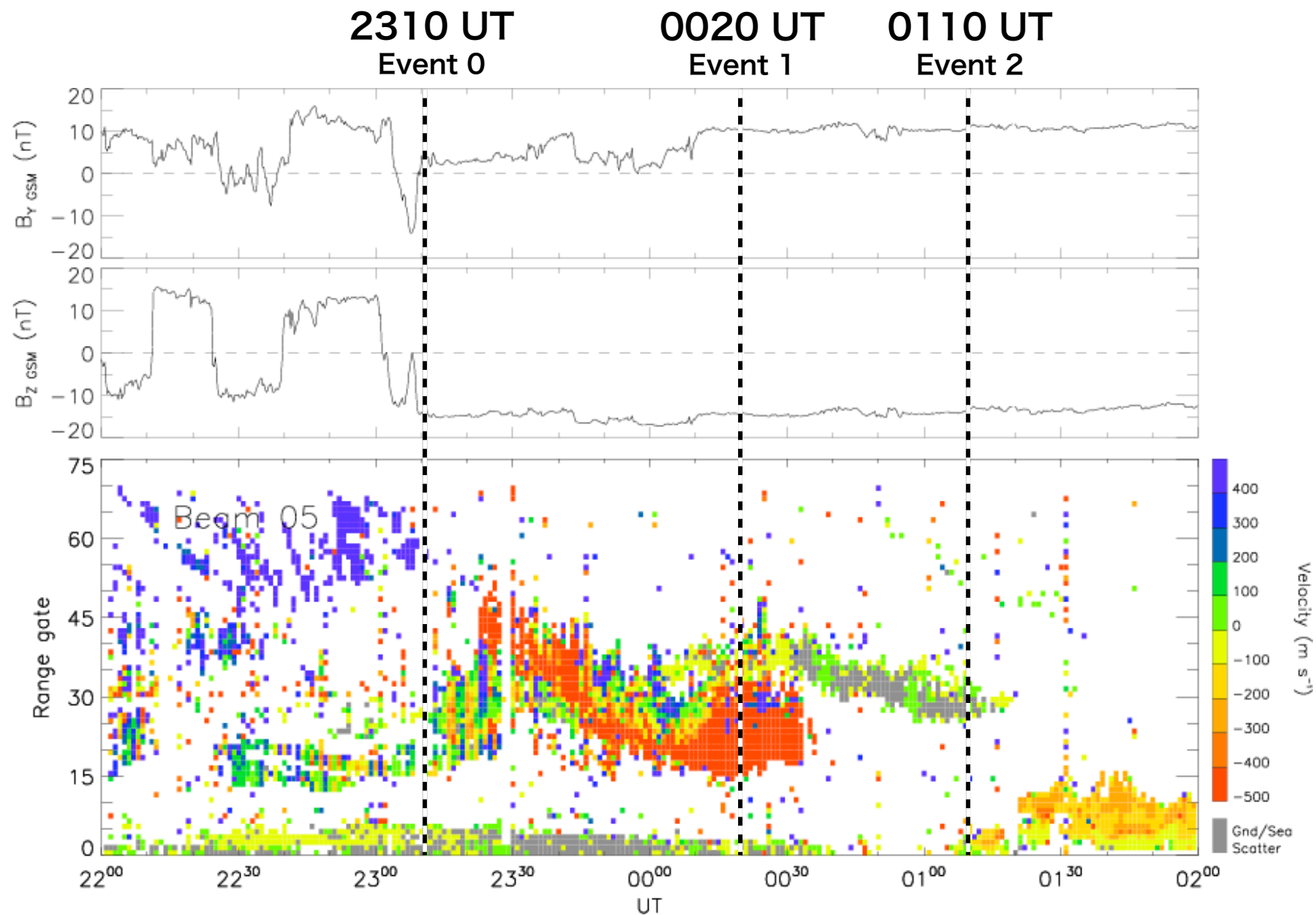
キングサーモンレーダーによる対流観測



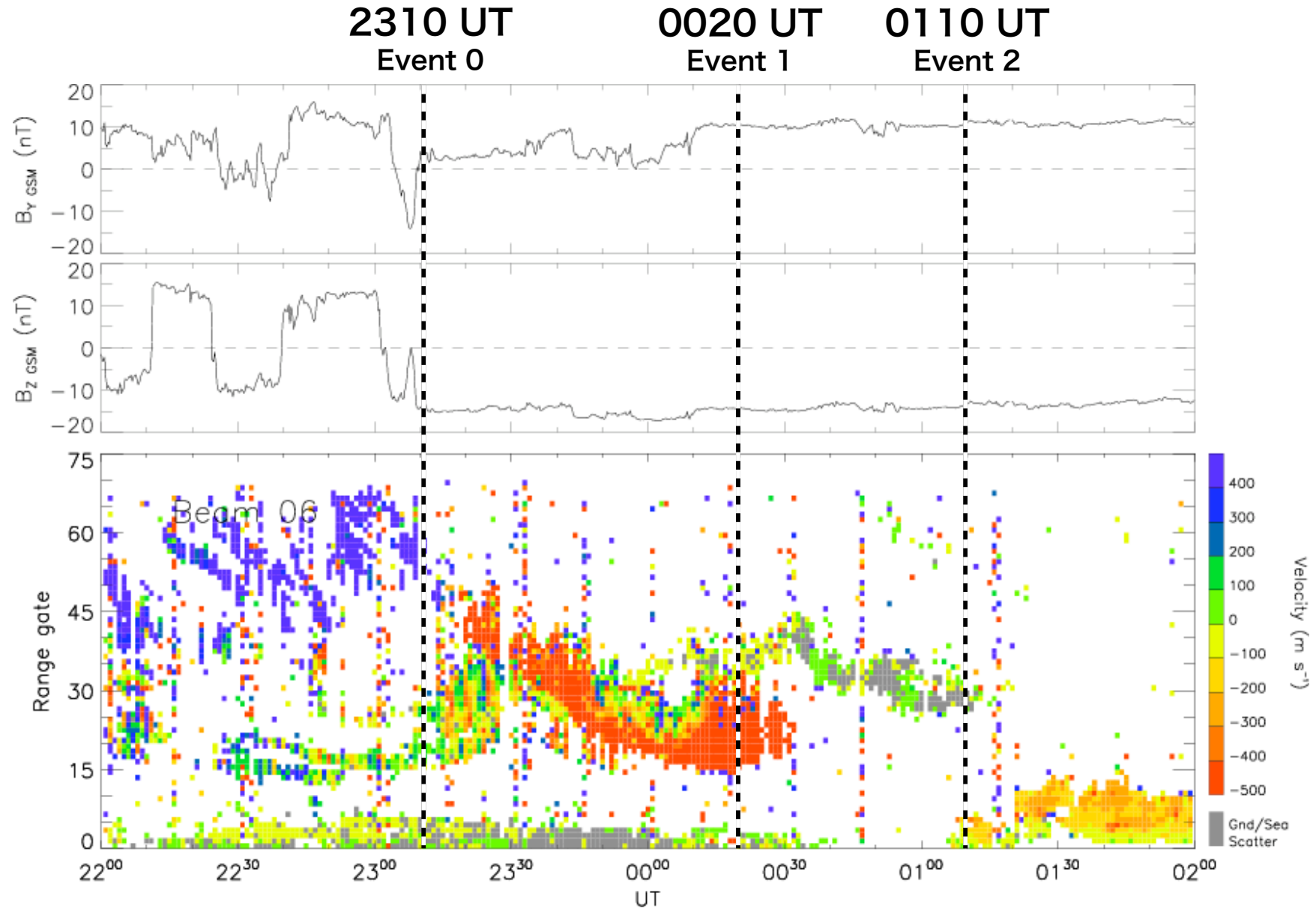
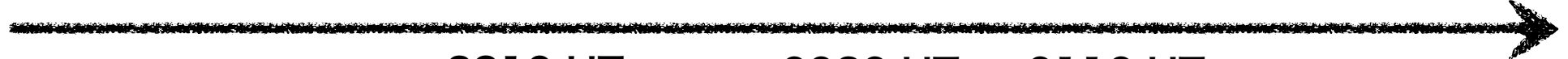
キングサーモンレーダーによる対流観測



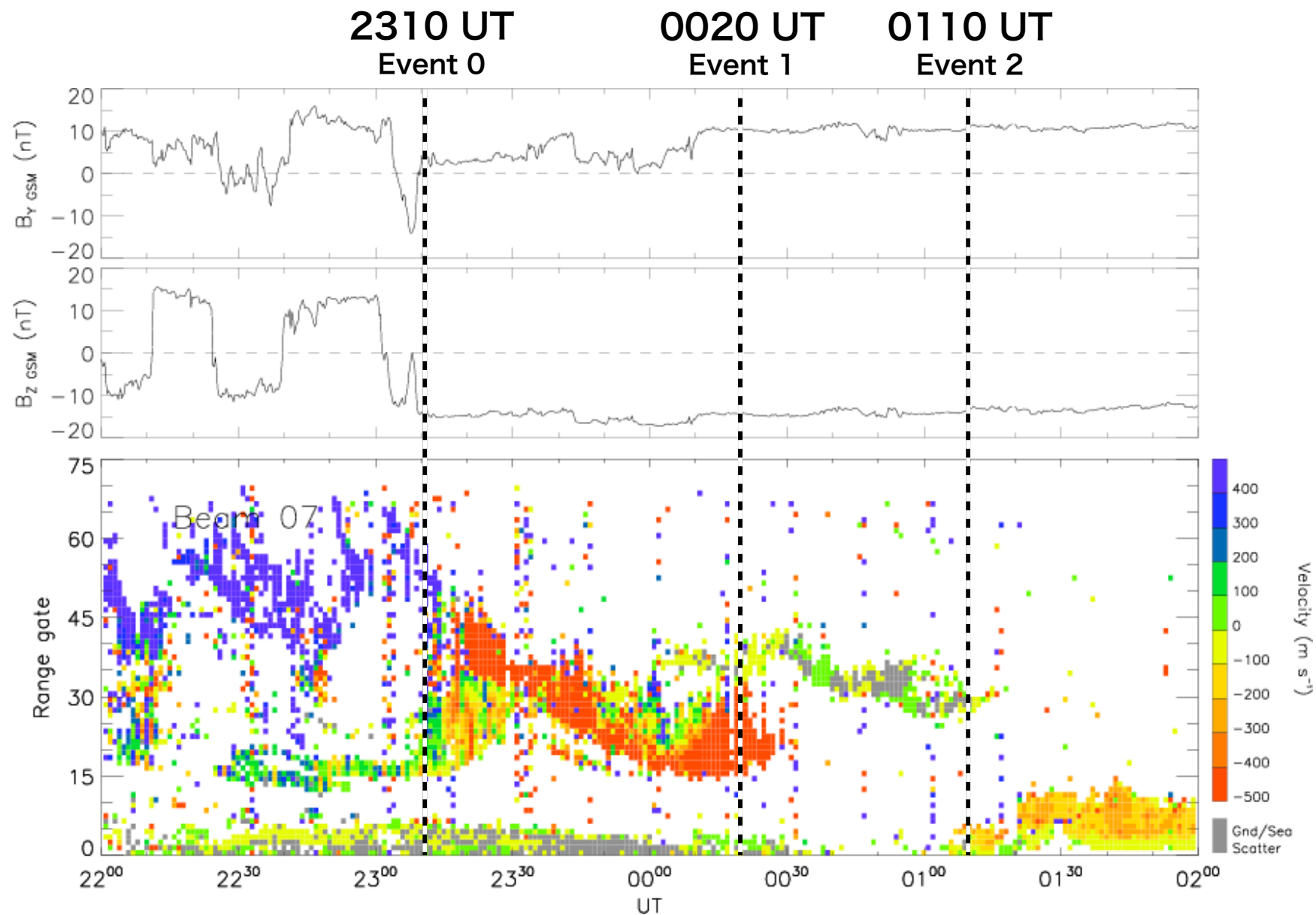
キングサーモンレーダーによる対流観測



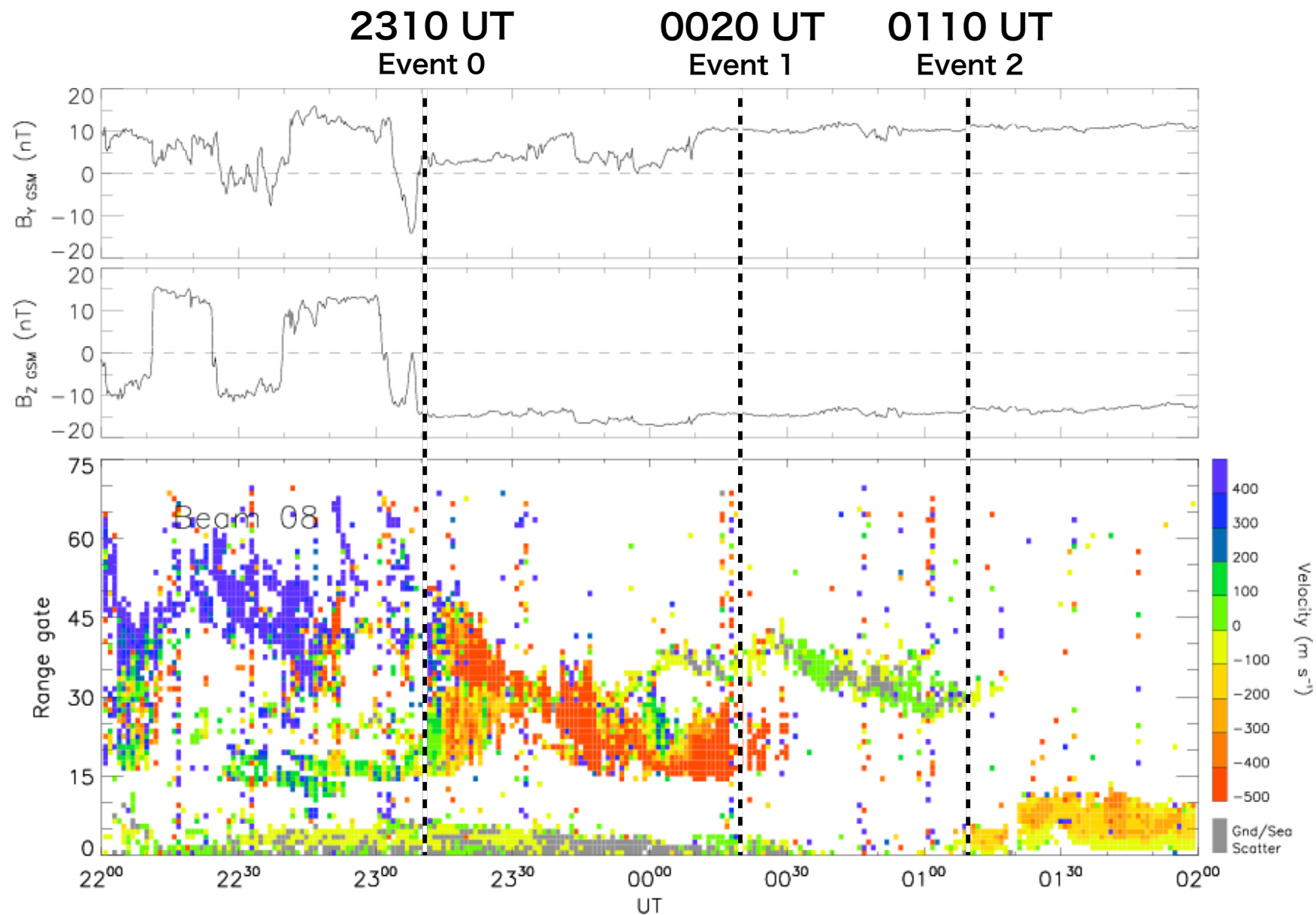
キングサーモンレーダーによる対流観測



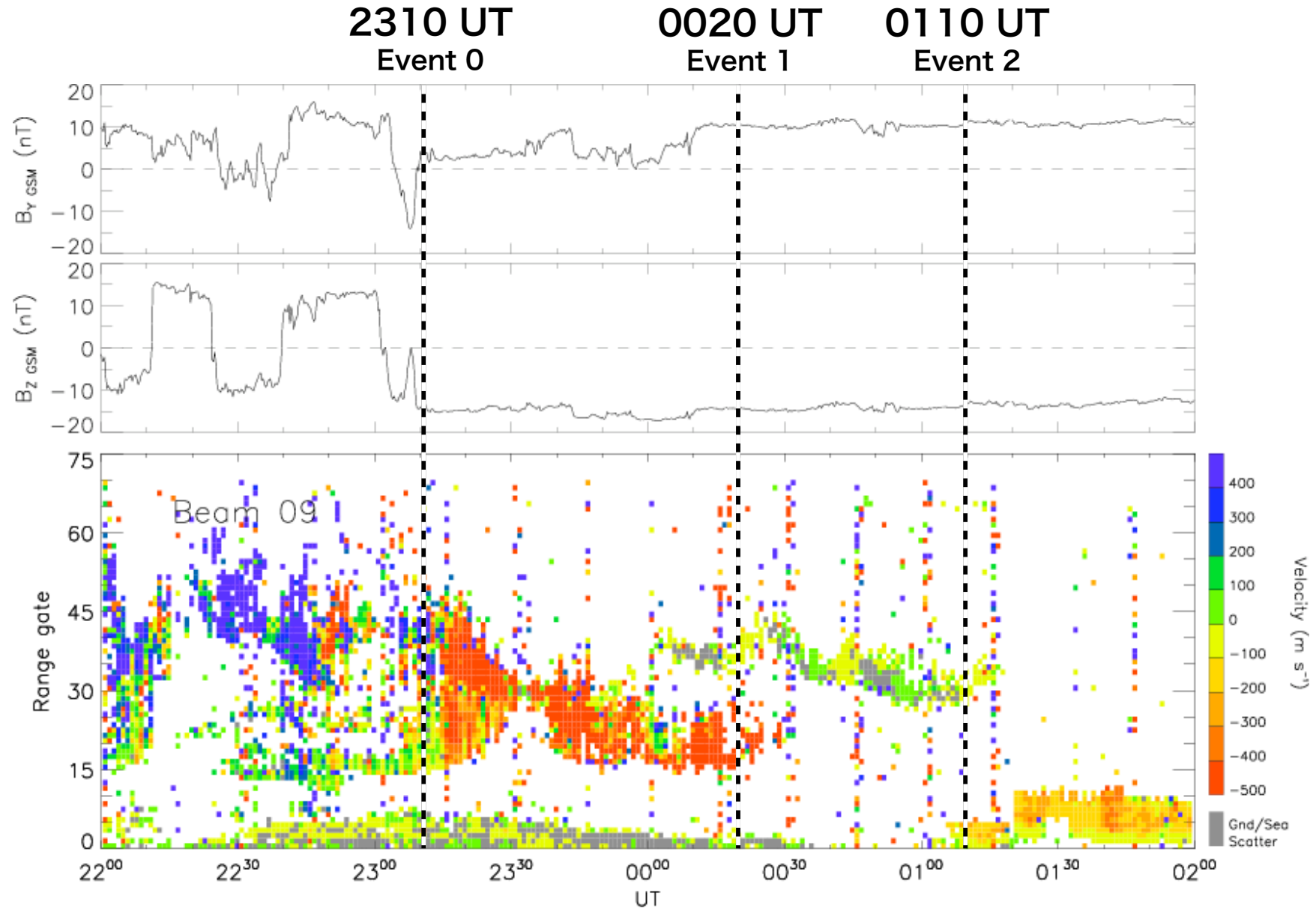
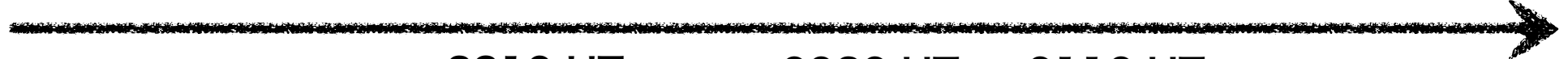
キングサーモンレーダーによる対流観測



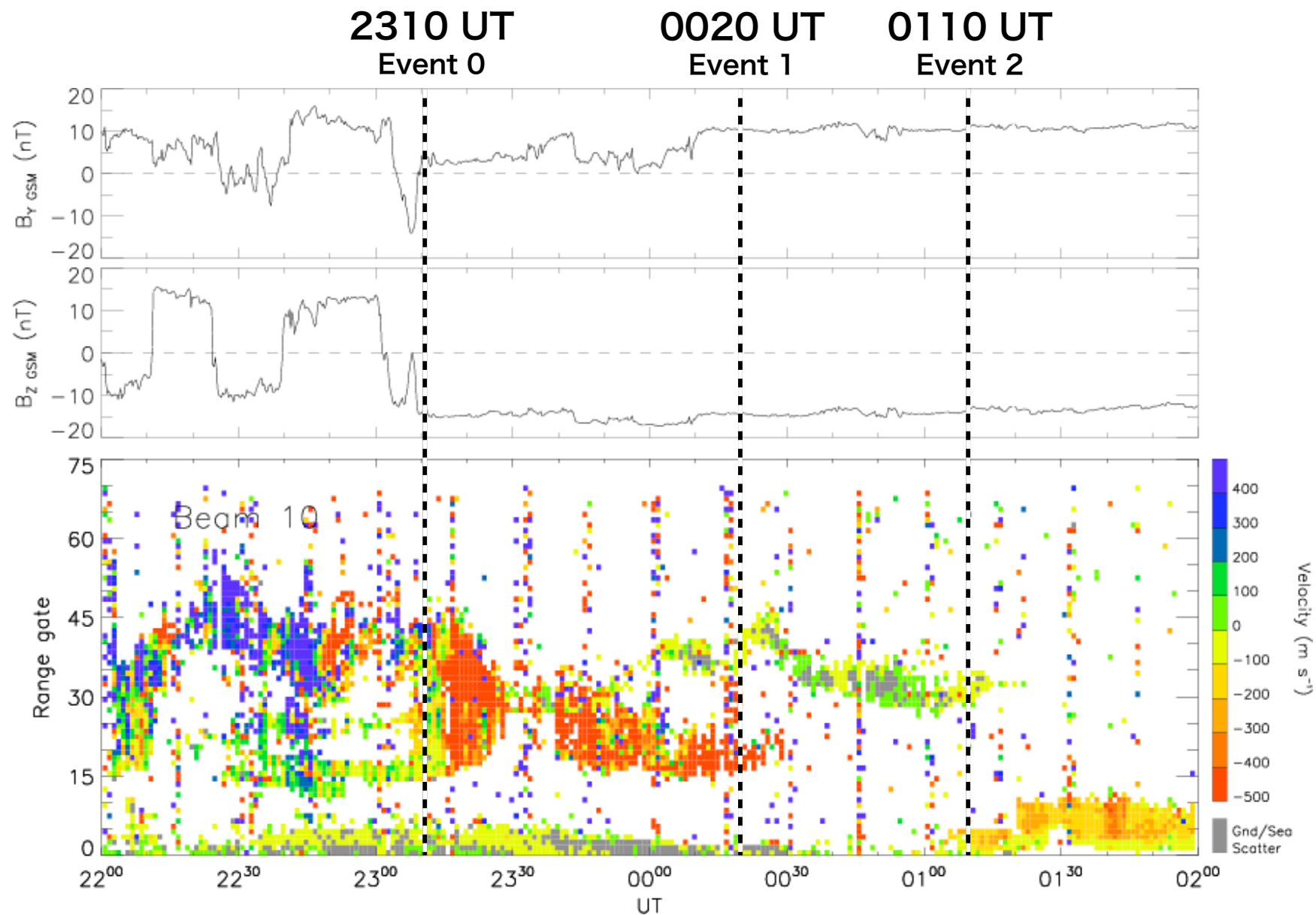
キングサーモンレーダーによる対流観測



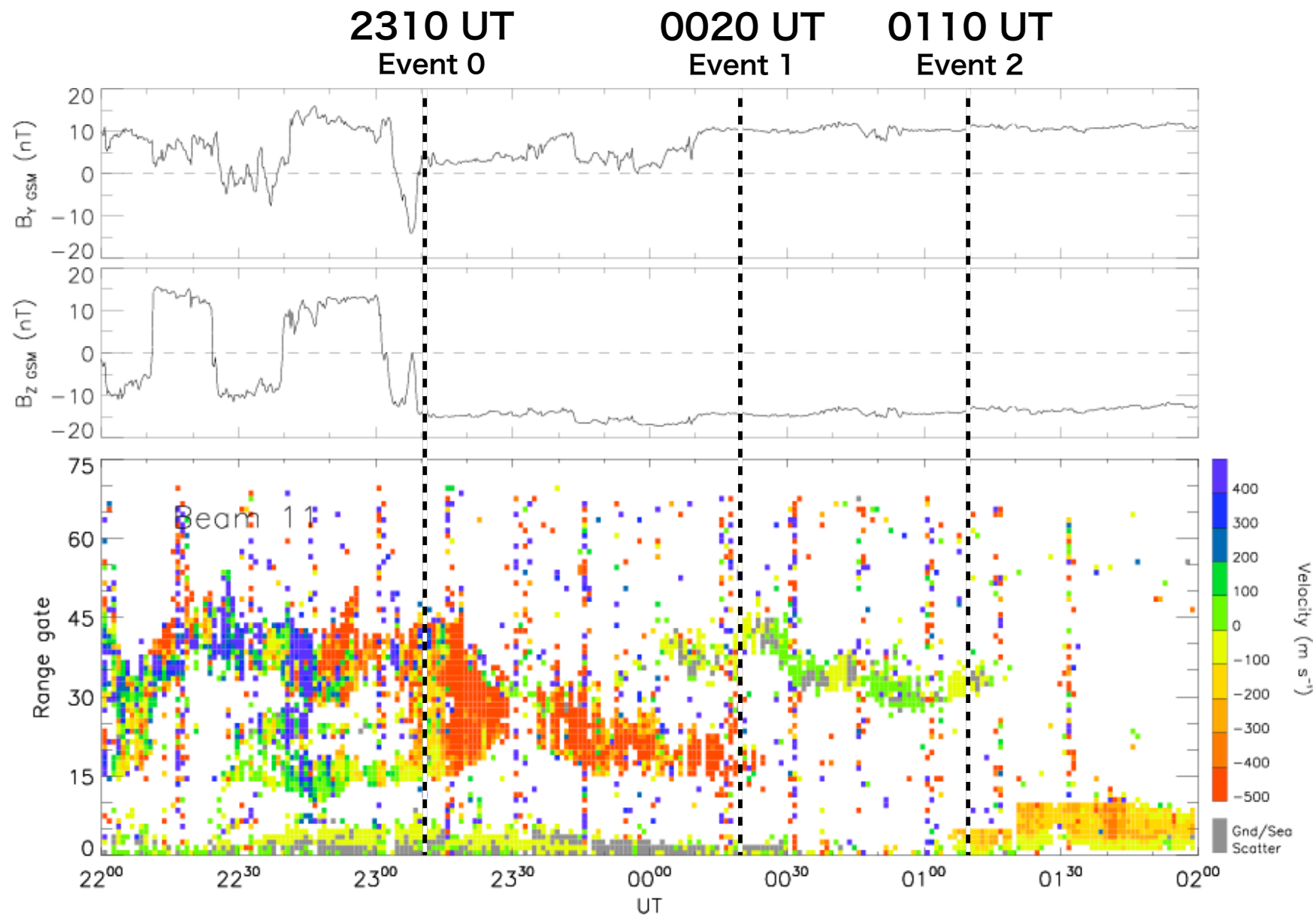
キングサーモンレーダーによる対流観測



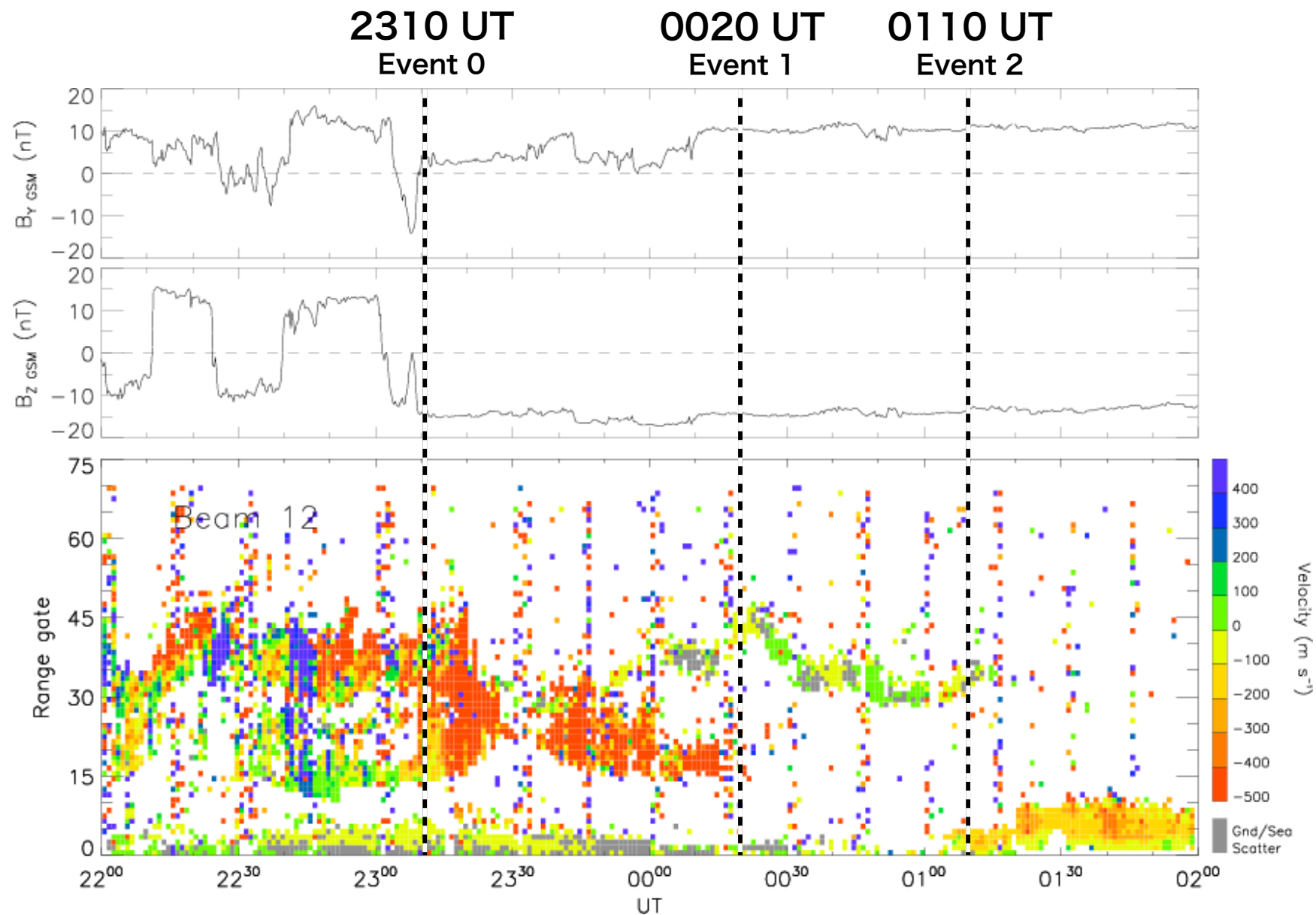
キングサーモンレーダーによる対流観測



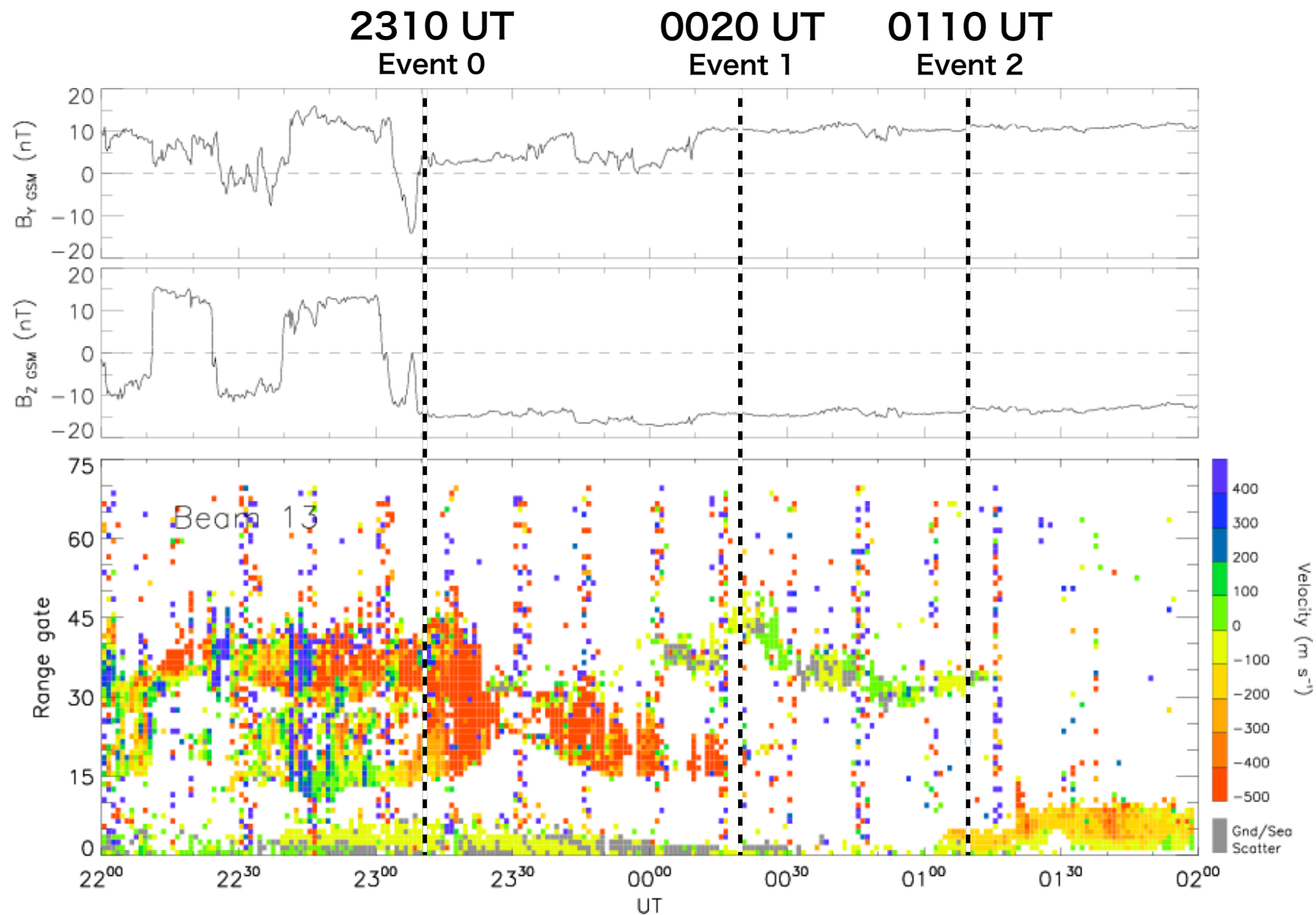
キングサーモンレーダーによる対流観測



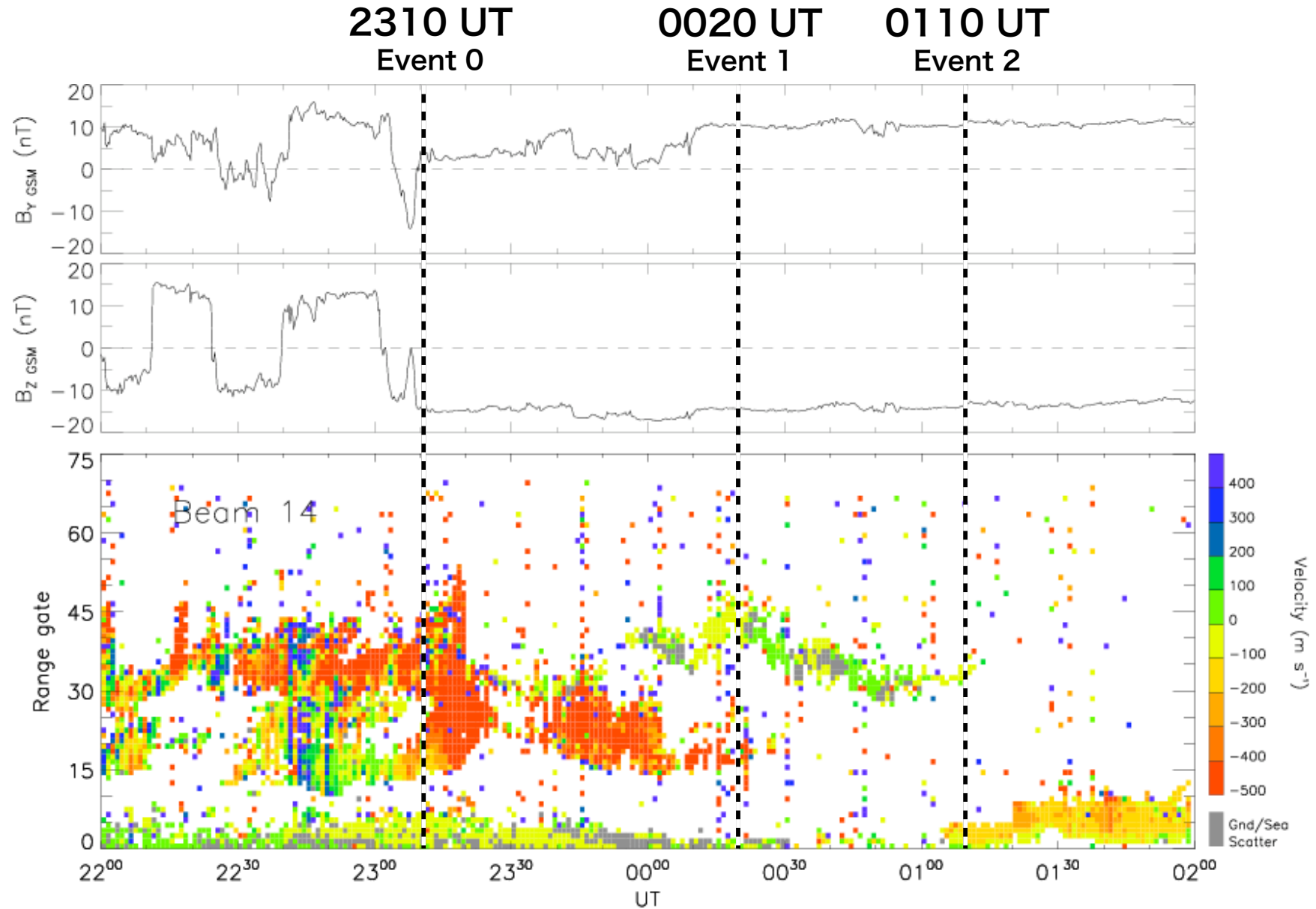
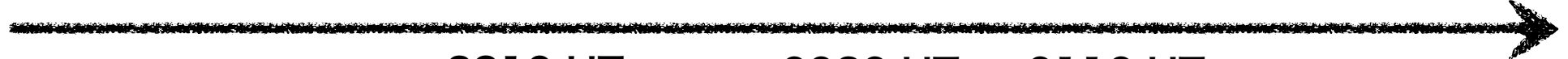
キングサーモンレーダーによる対流観測



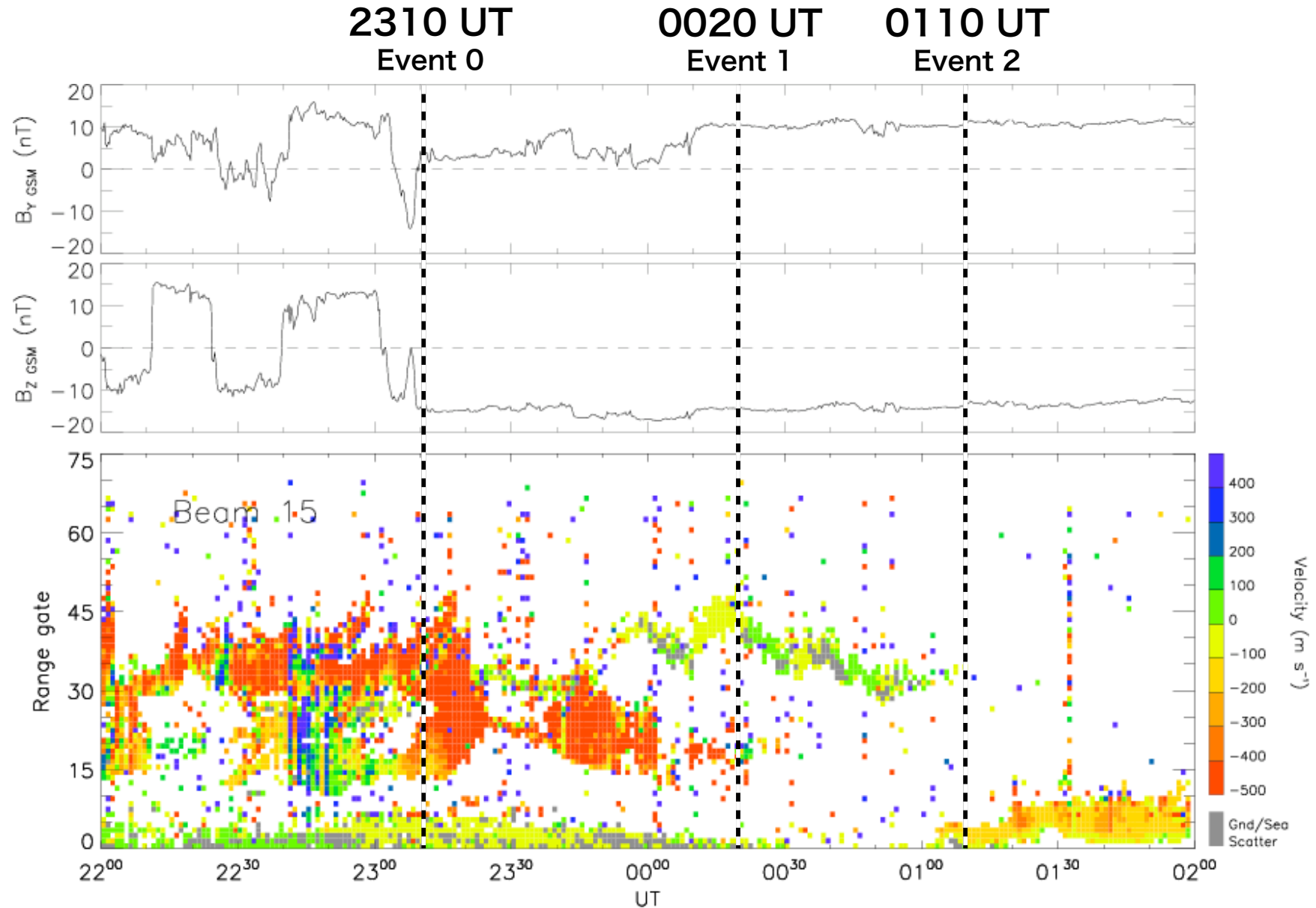
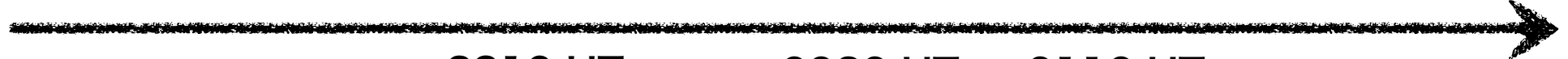
キングサーモンレーダーによる対流観測



キングサーモンレーダーによる対流観測

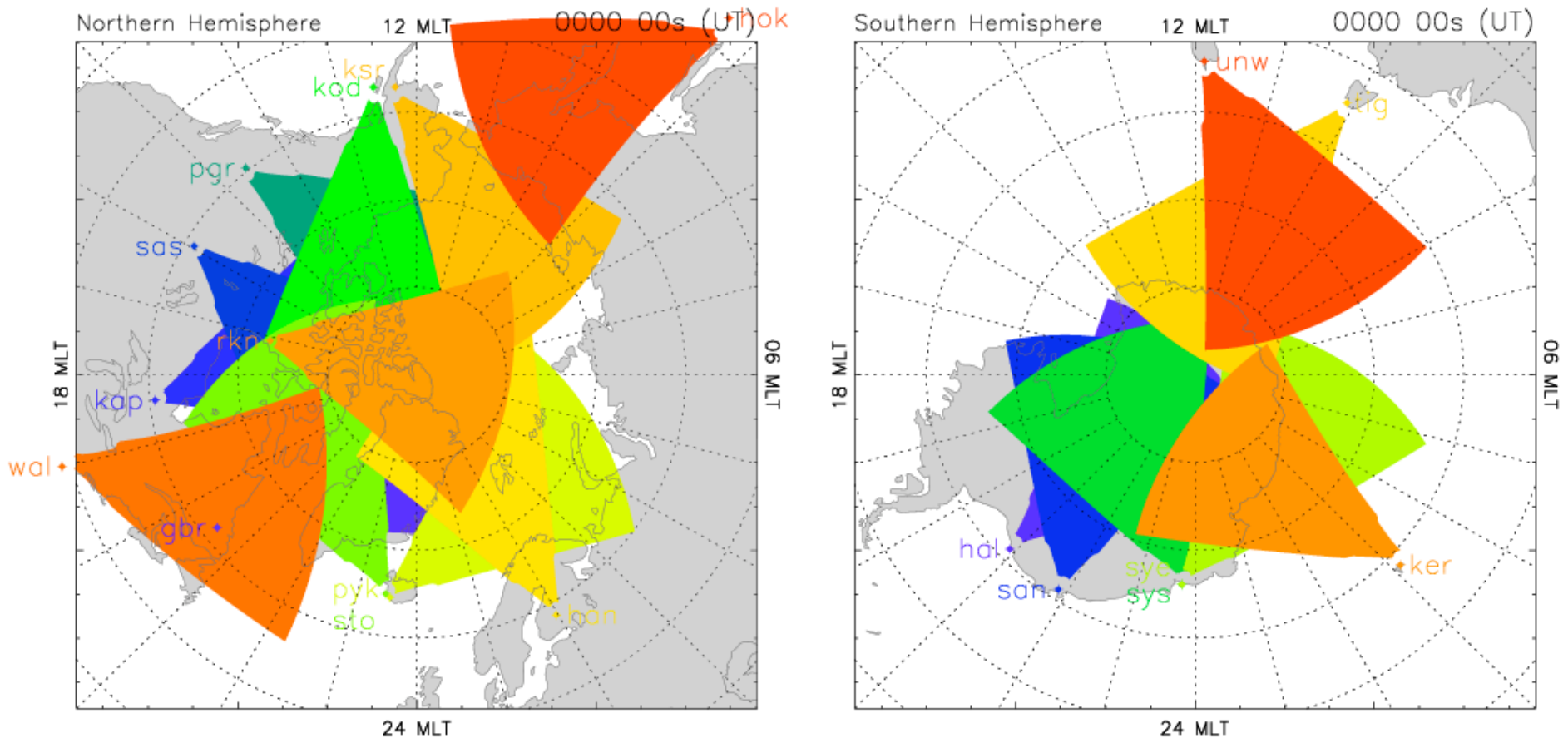


キングサーモンレーダーによる対流観測

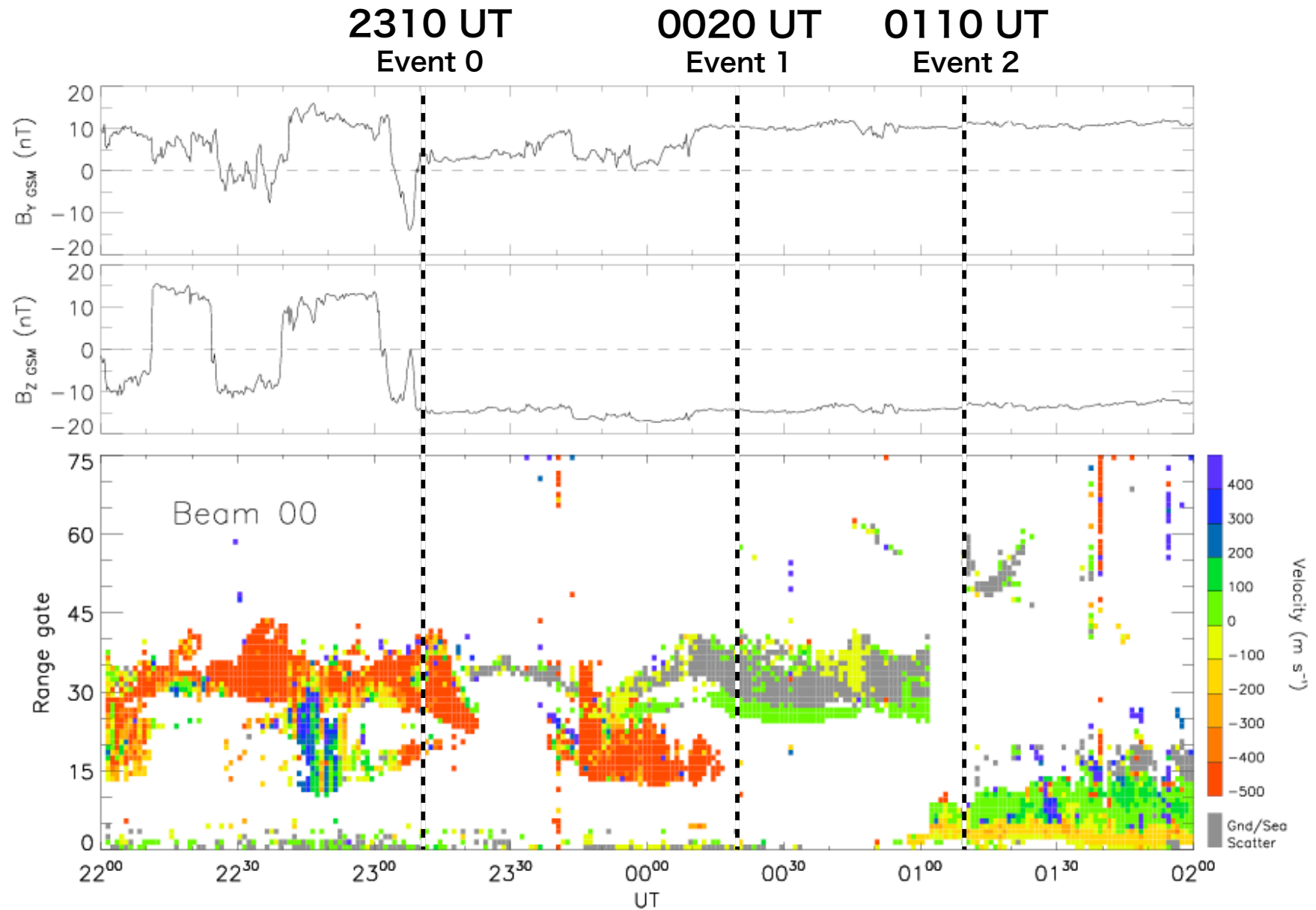


コディアックレーダーによる対流観測

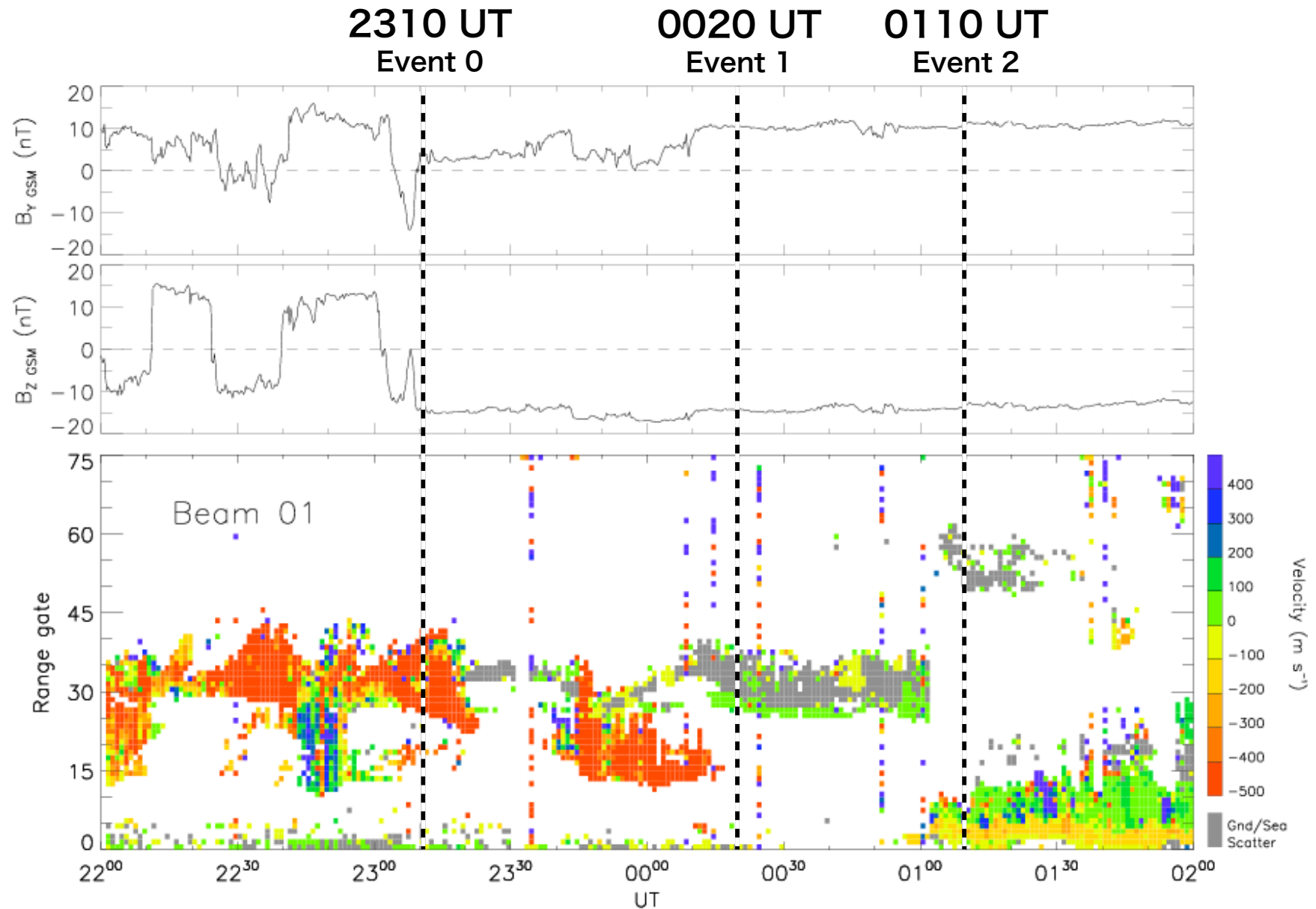
- ✓ 2310 UT, 0020 UT, 0110 UT の 3 つの推定励起時刻に着目
- ✓ コディアックレーダーは post-noon セクターを観測していた
- ✓ 何らかのプラズマ対流の時間変化があるか？



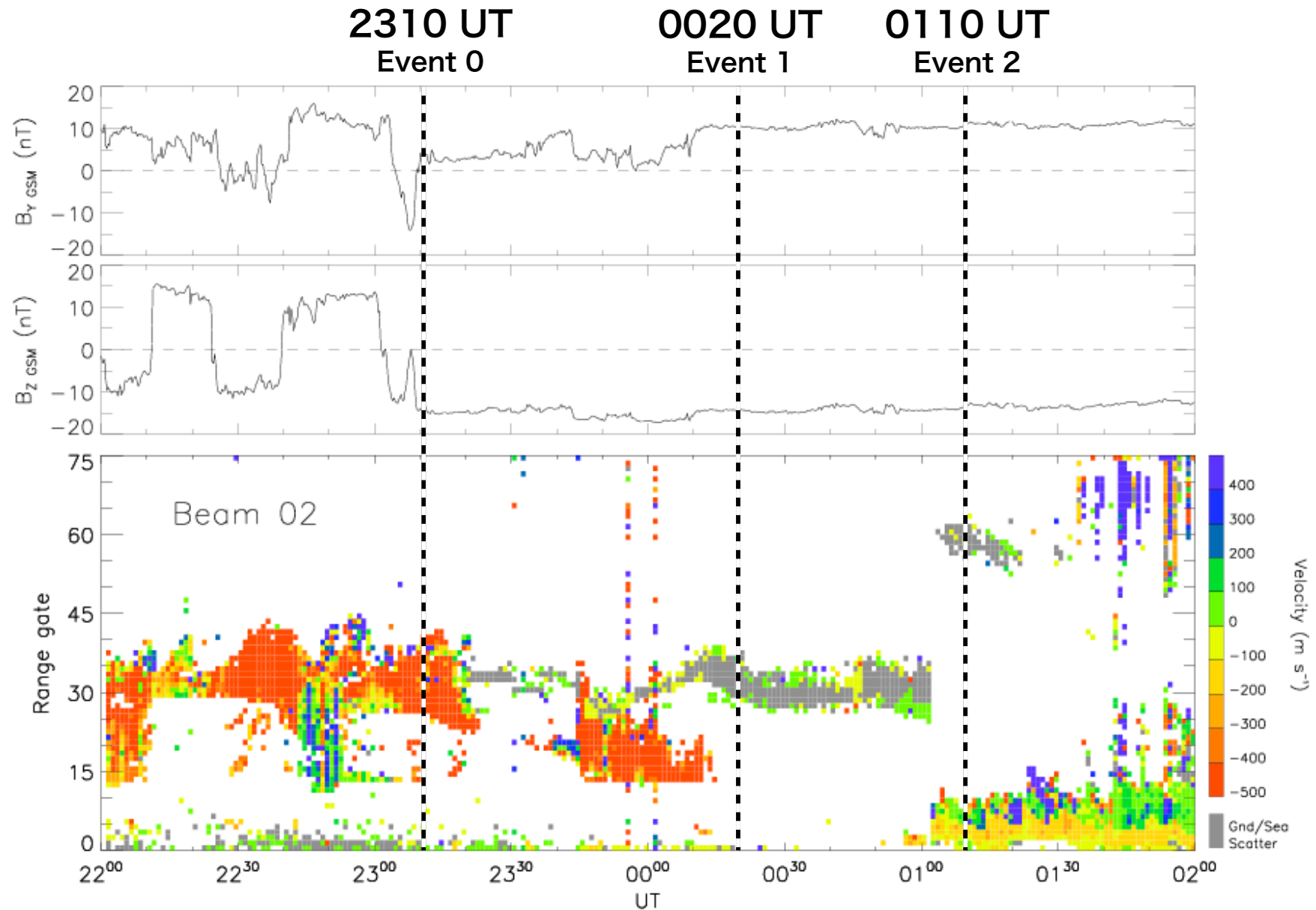
コディアックレーダーによる対流観測



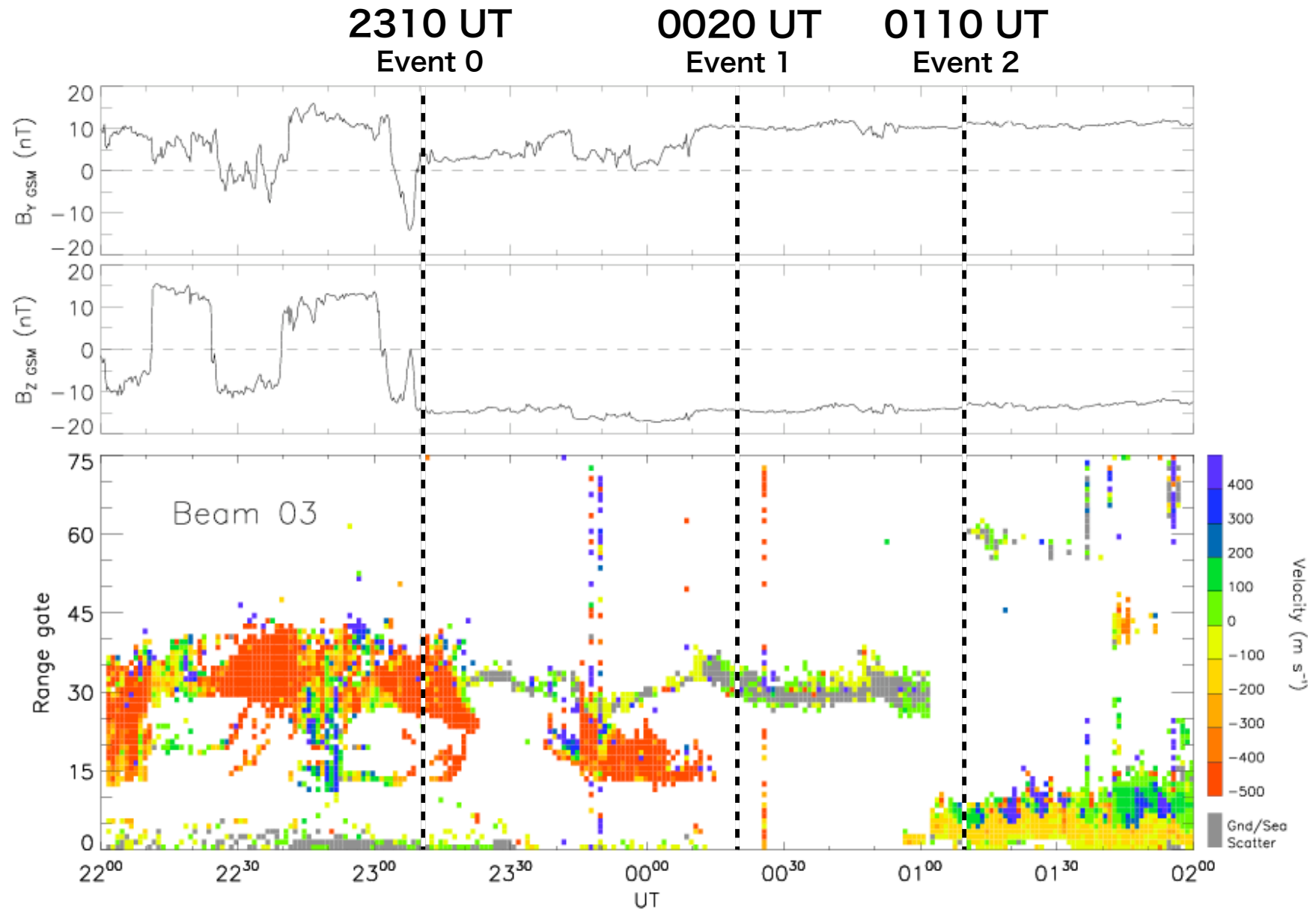
コディアックレーダーによる対流観測



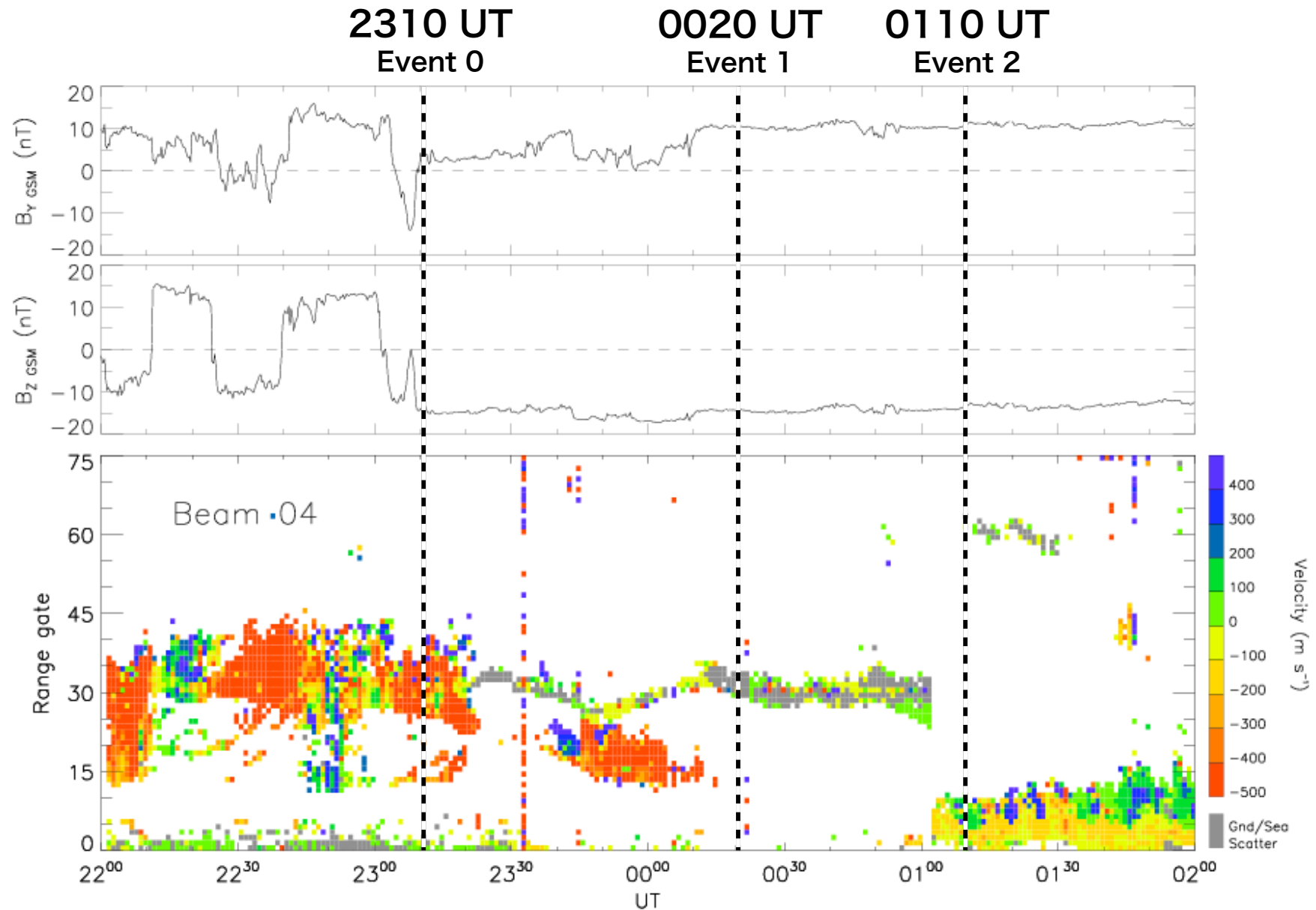
コディアックレーダーによる対流観測



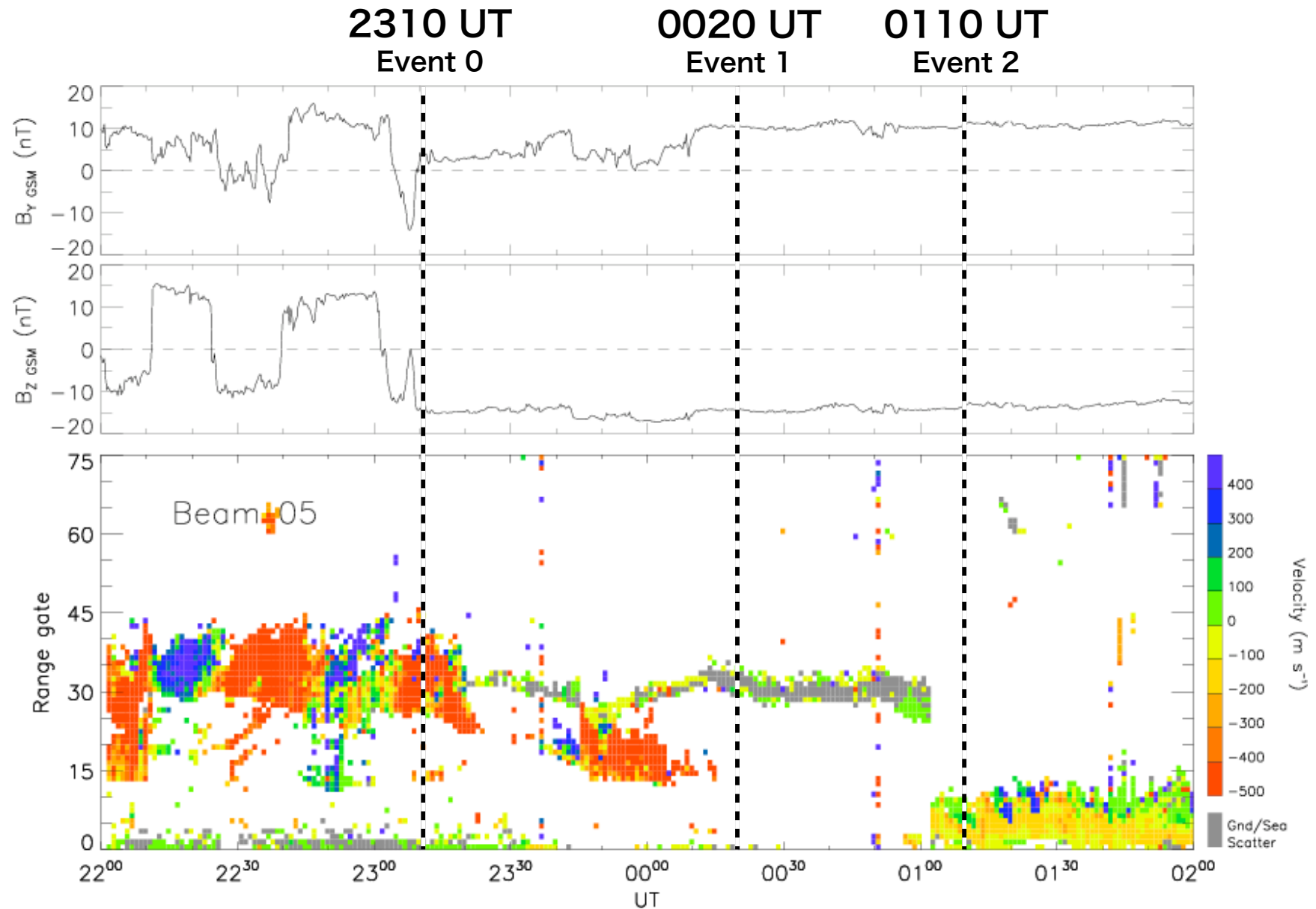
コディアックレーダーによる対流観測



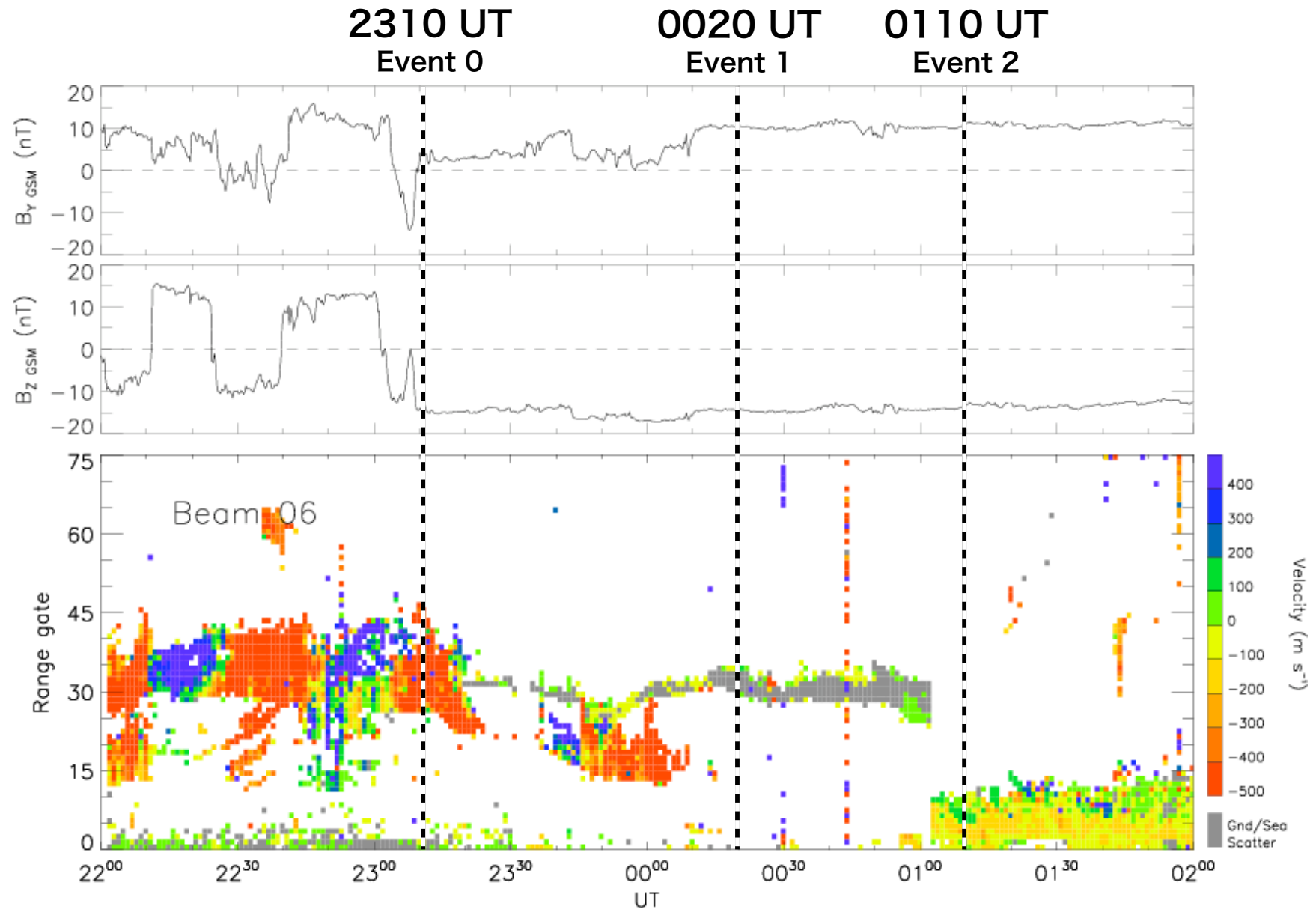
コディアックレーダーによる対流観測



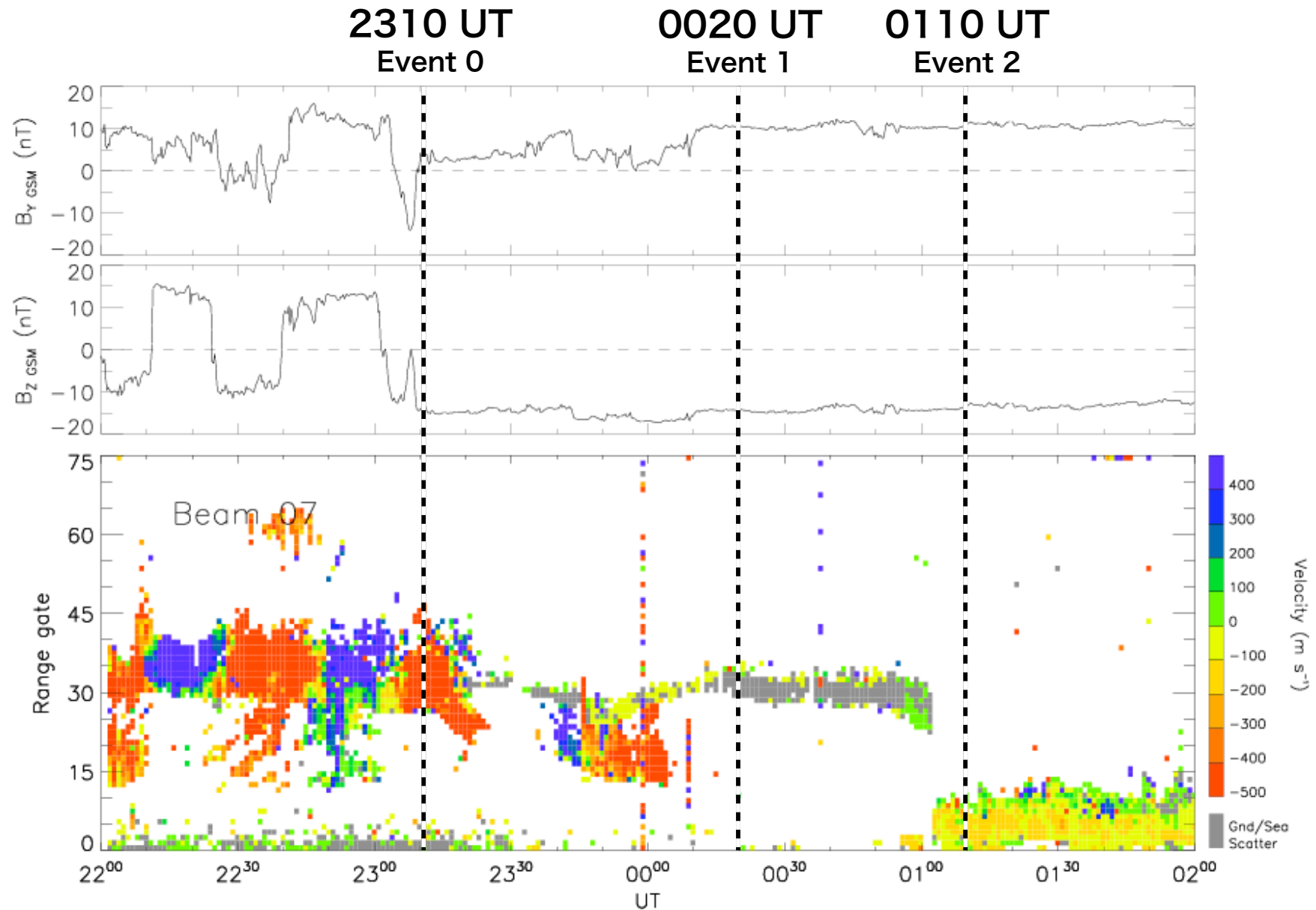
コディアックレーダーによる対流観測



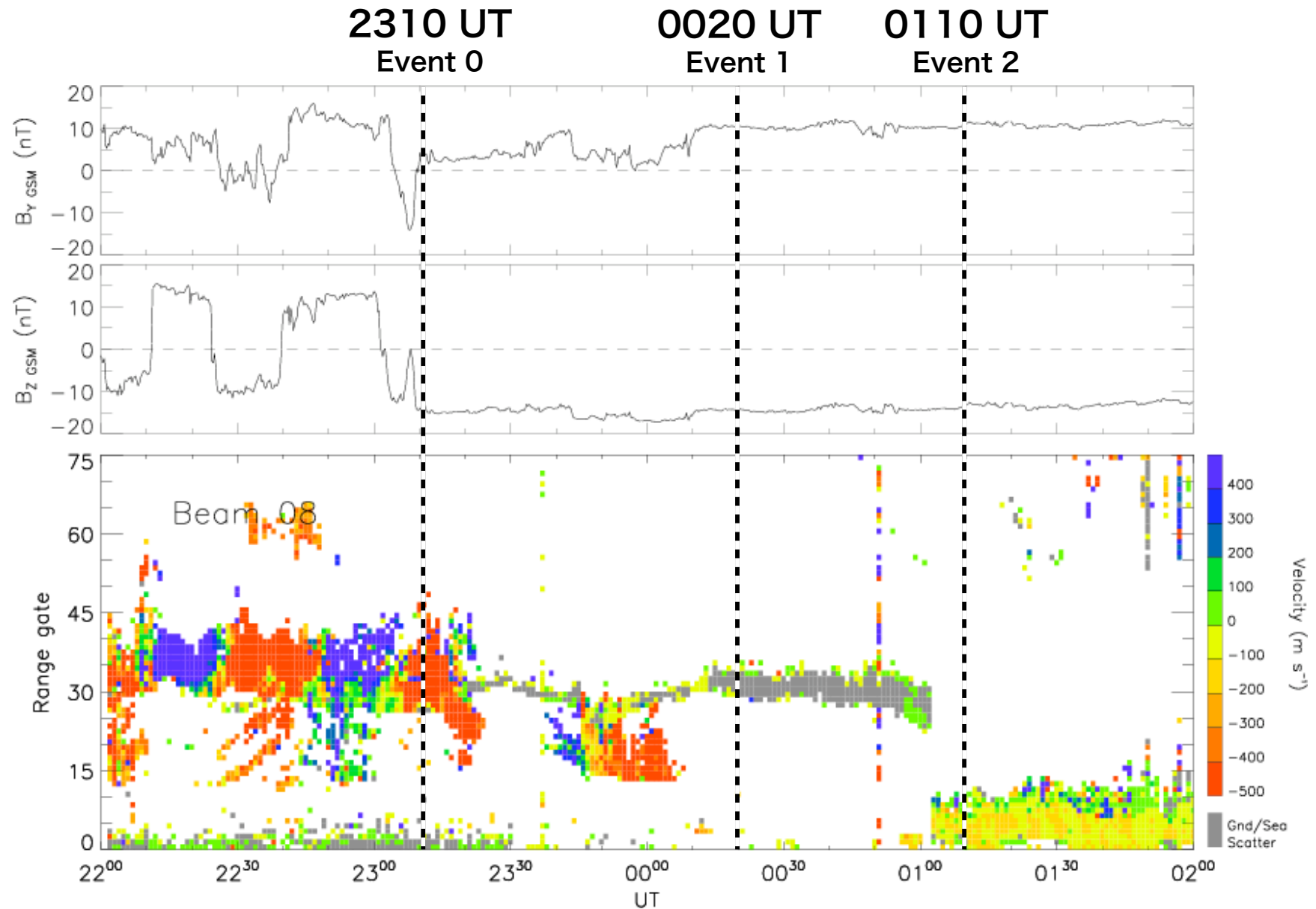
コディアックレーダーによる対流観測



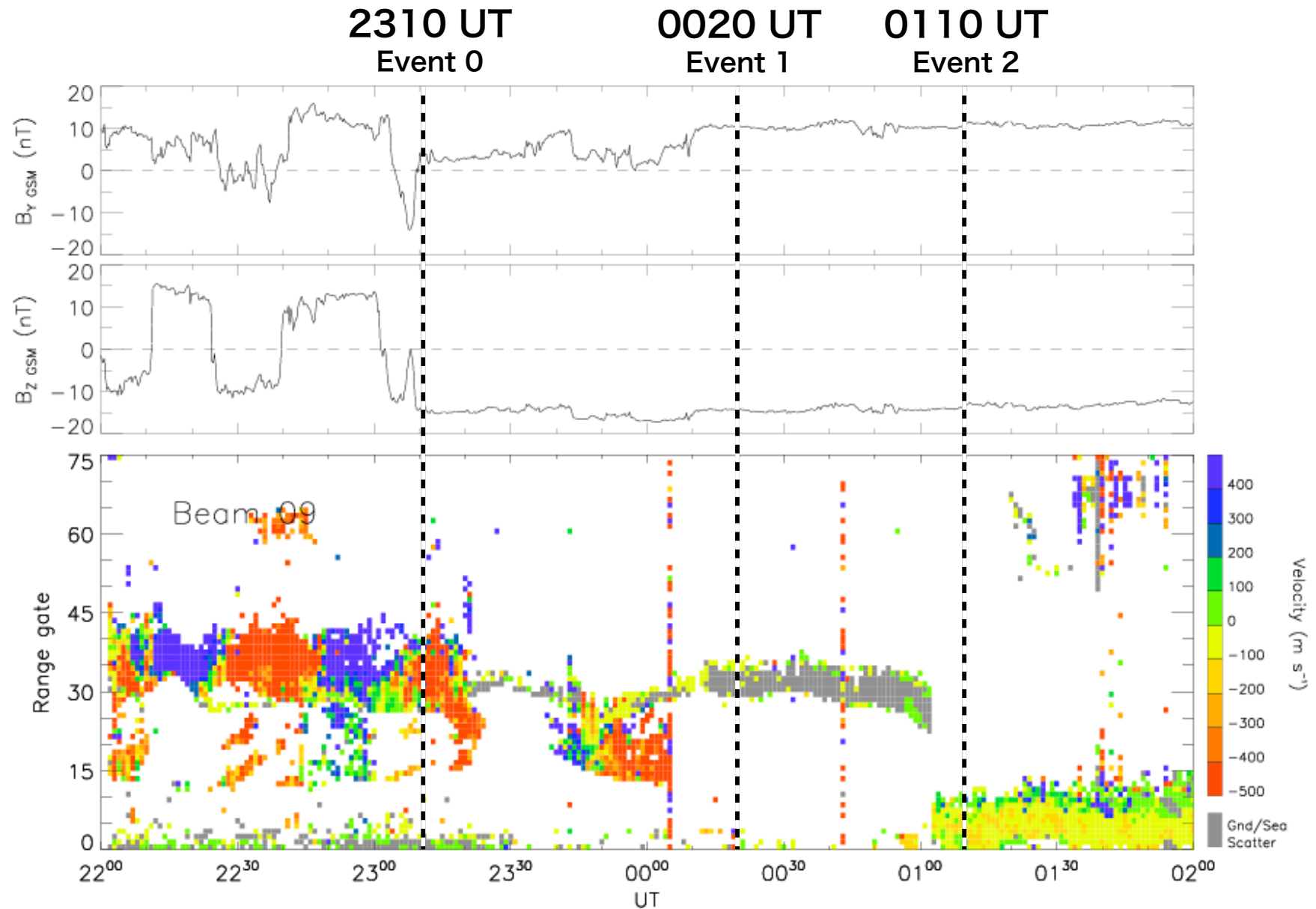
コディアックレーダーによる対流観測



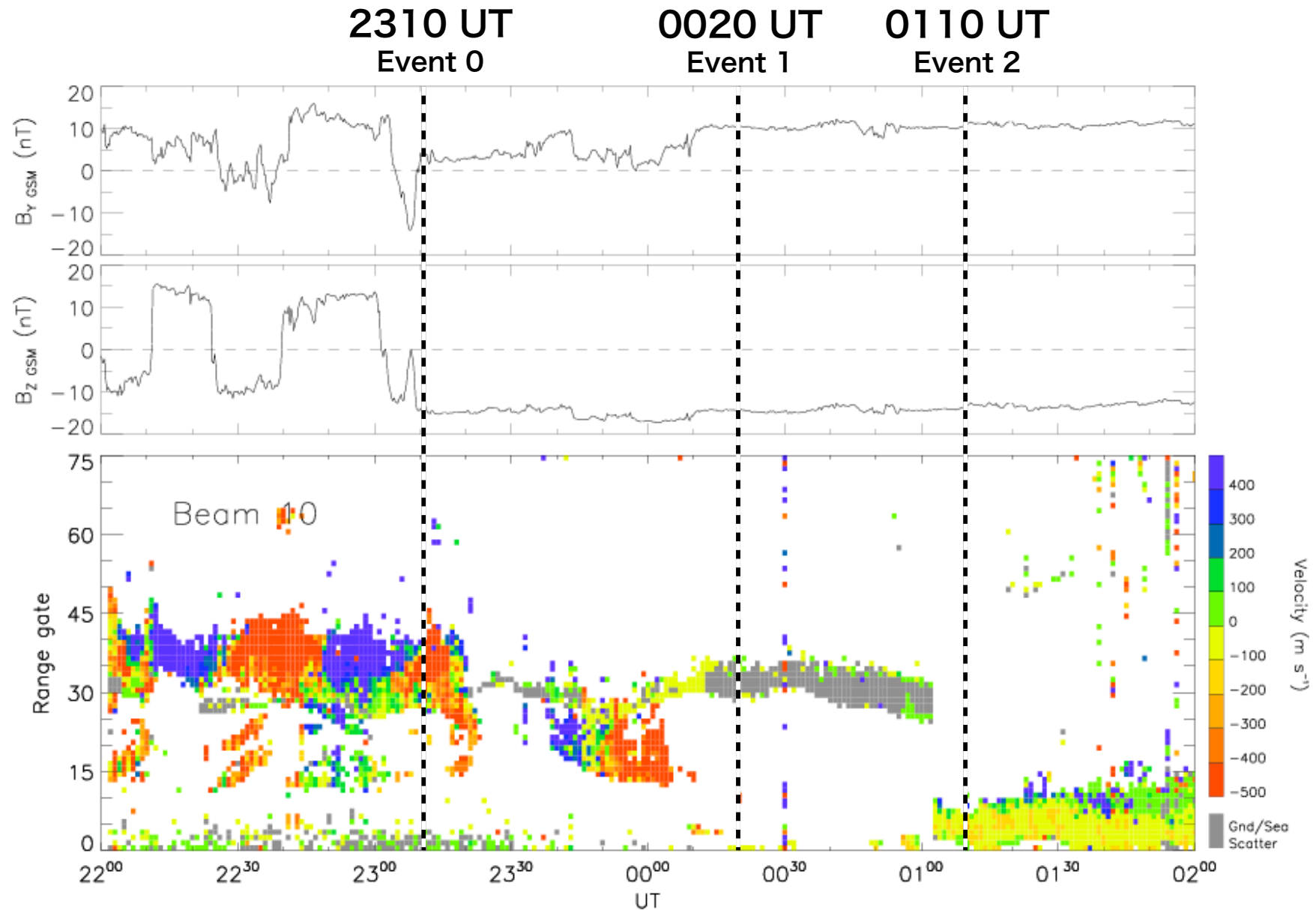
コディアックレーダーによる対流観測



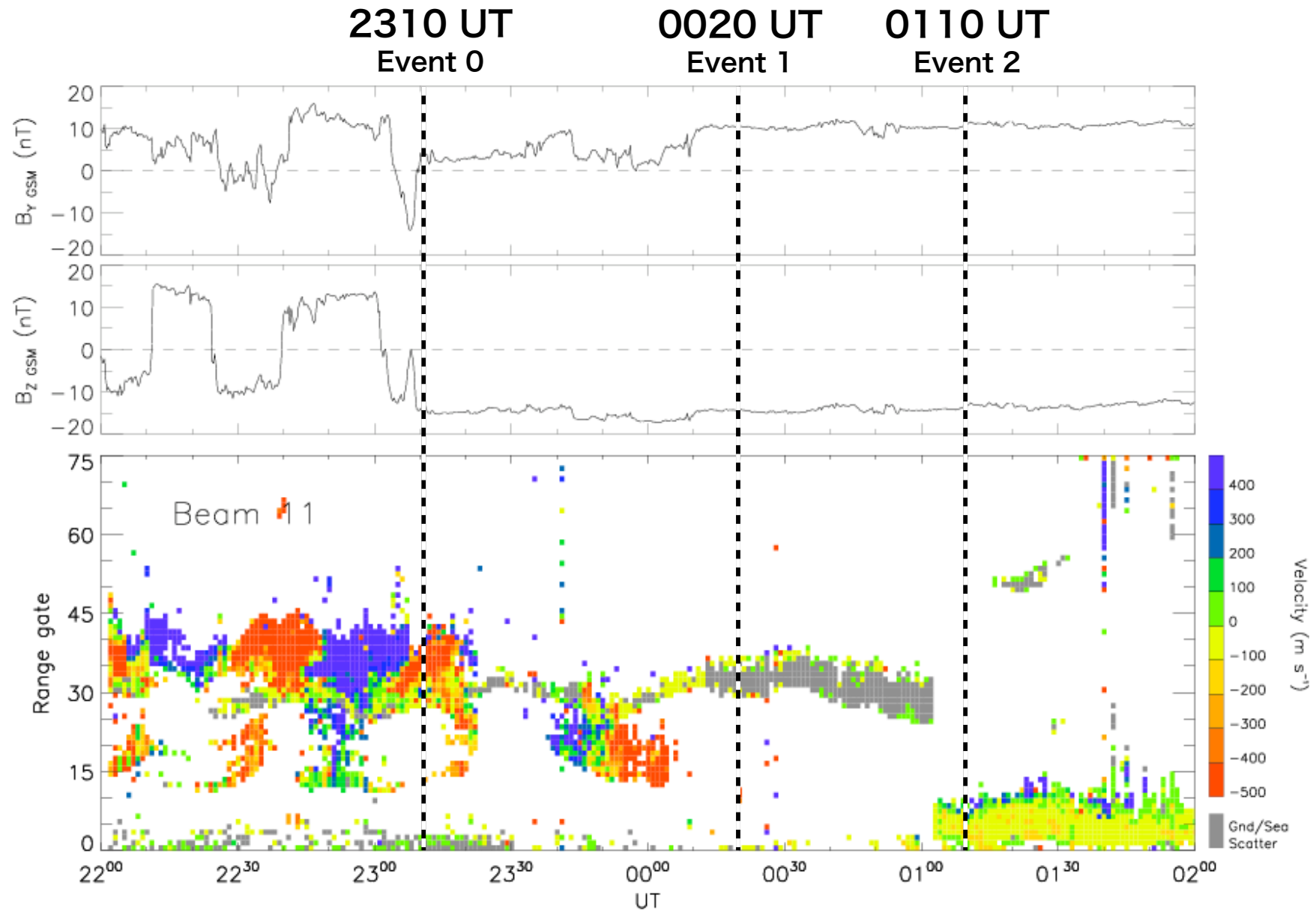
コディアックレーダーによる対流観測



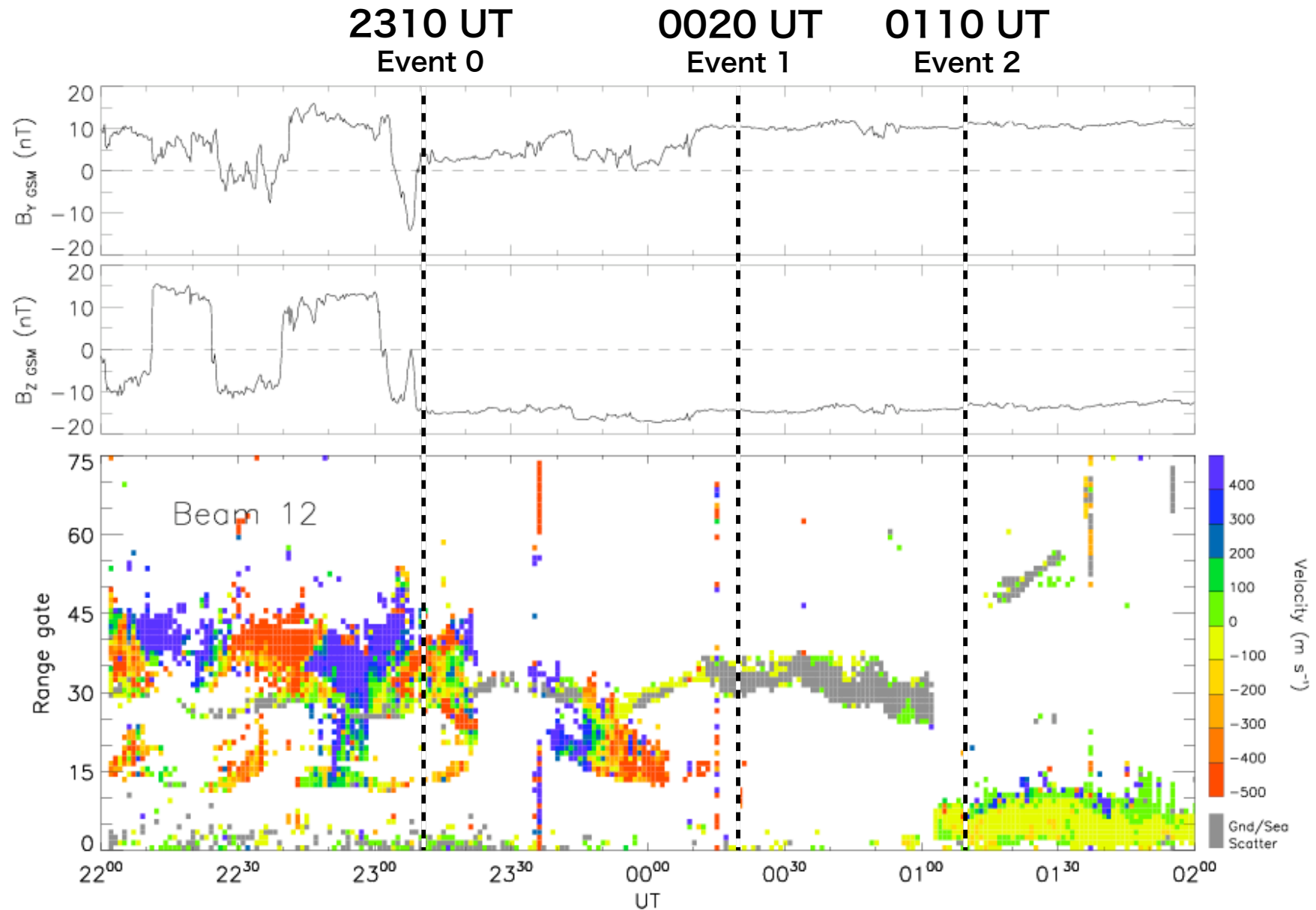
コディアックレーダーによる対流観測



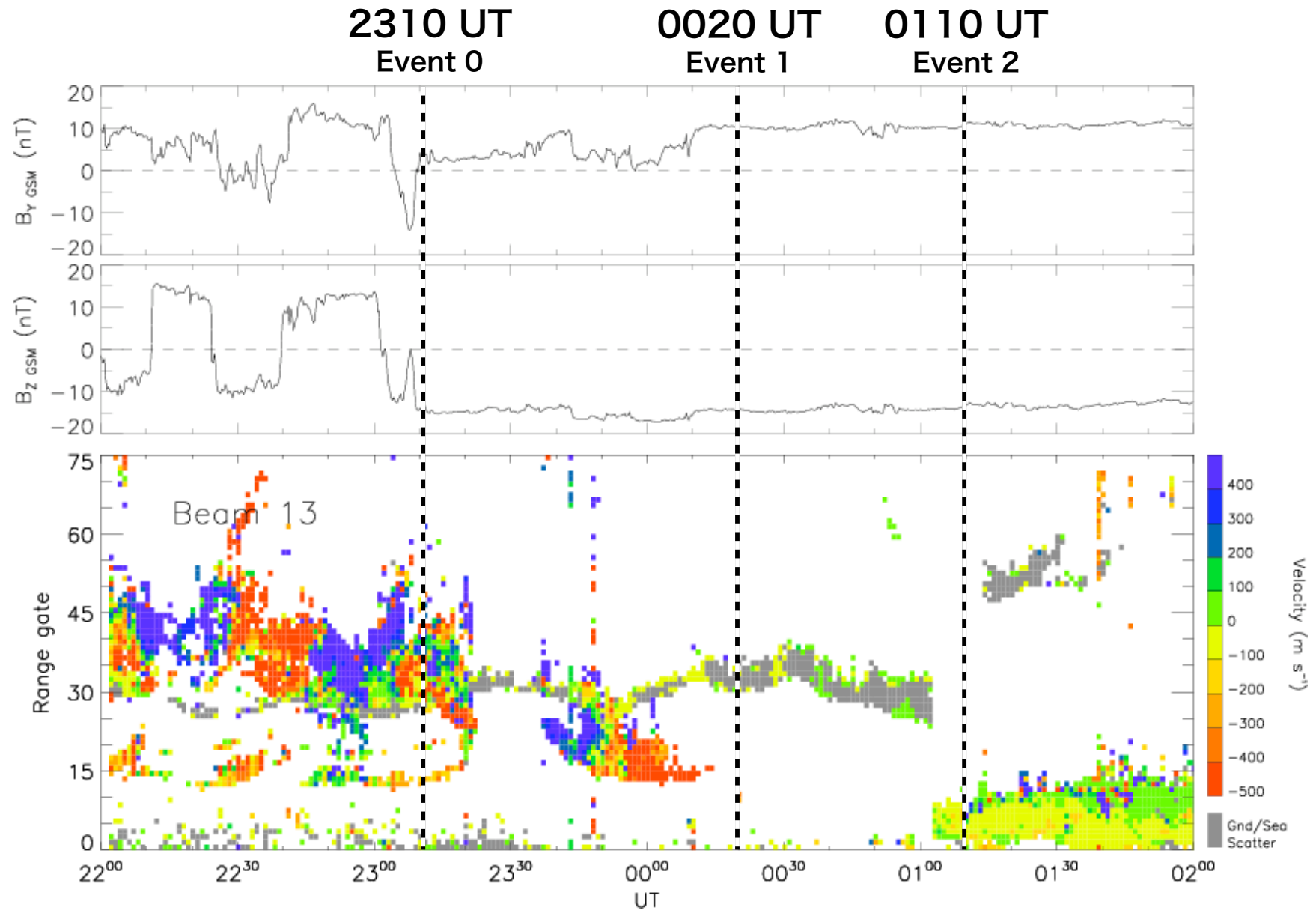
コディアックレーダーによる対流観測



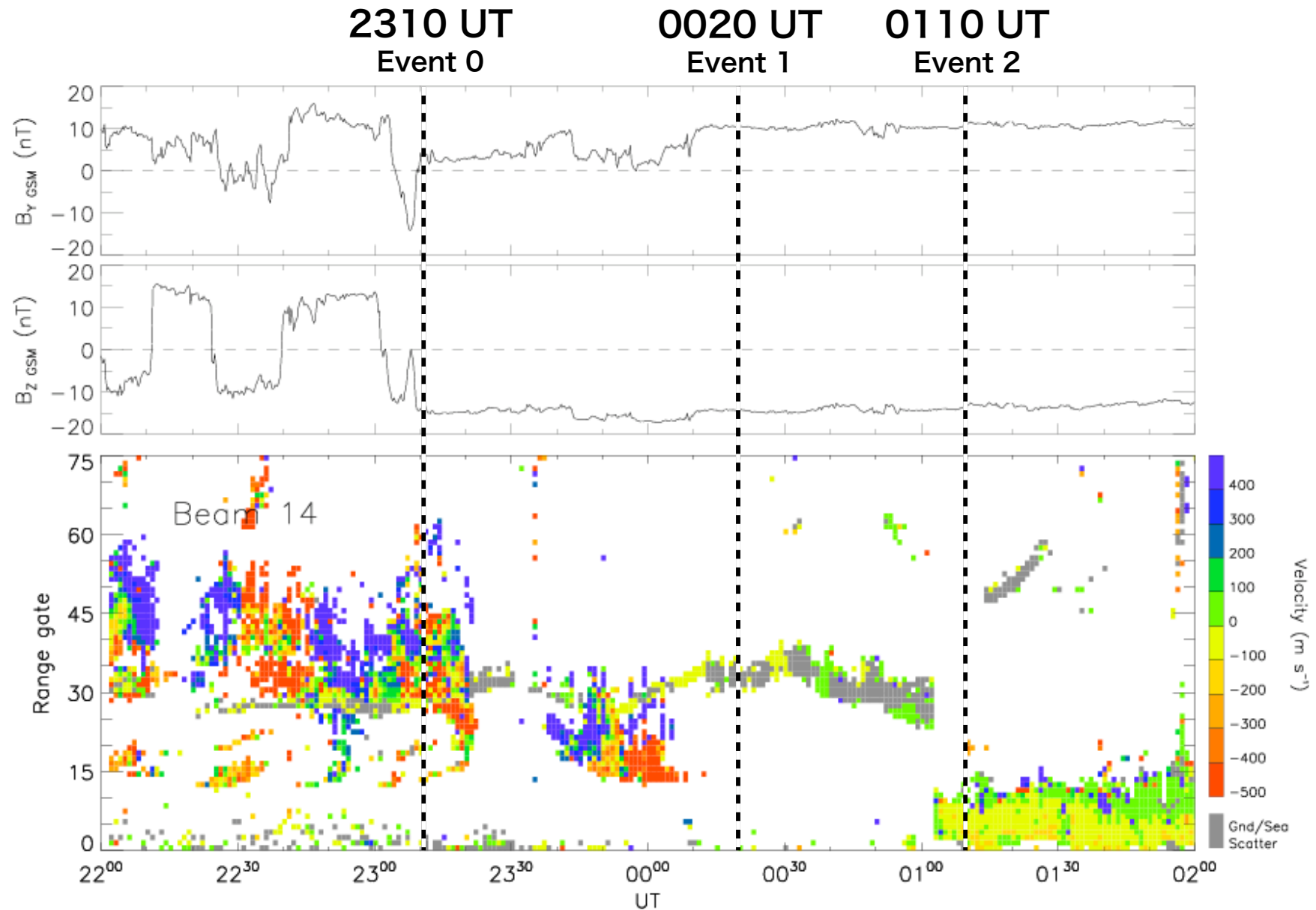
コディアックレーダーによる対流観測



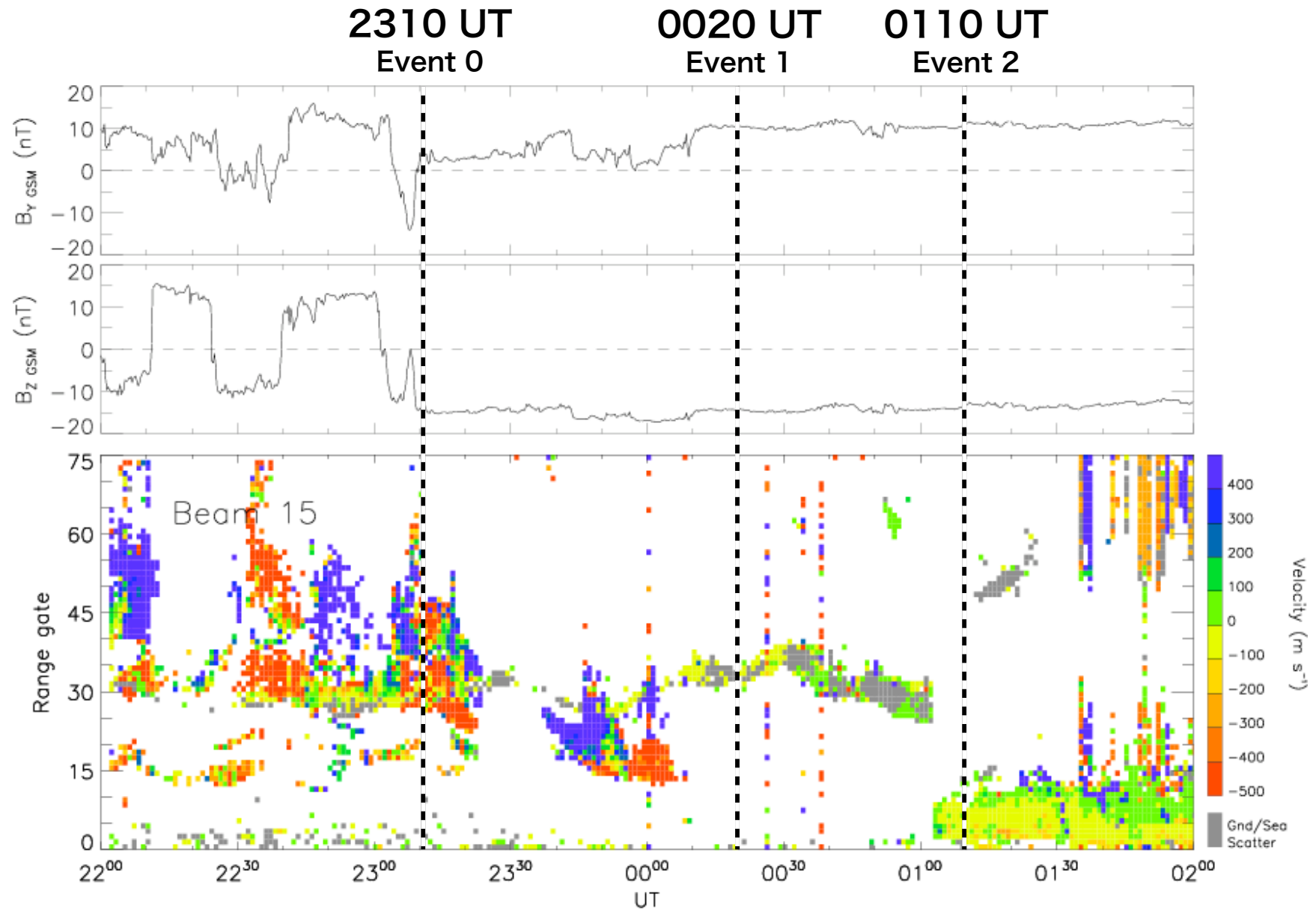
コディアックレーダーによる対流観測



コディアックレーダーによる対流観測



コディアックレーダーによる対流観測

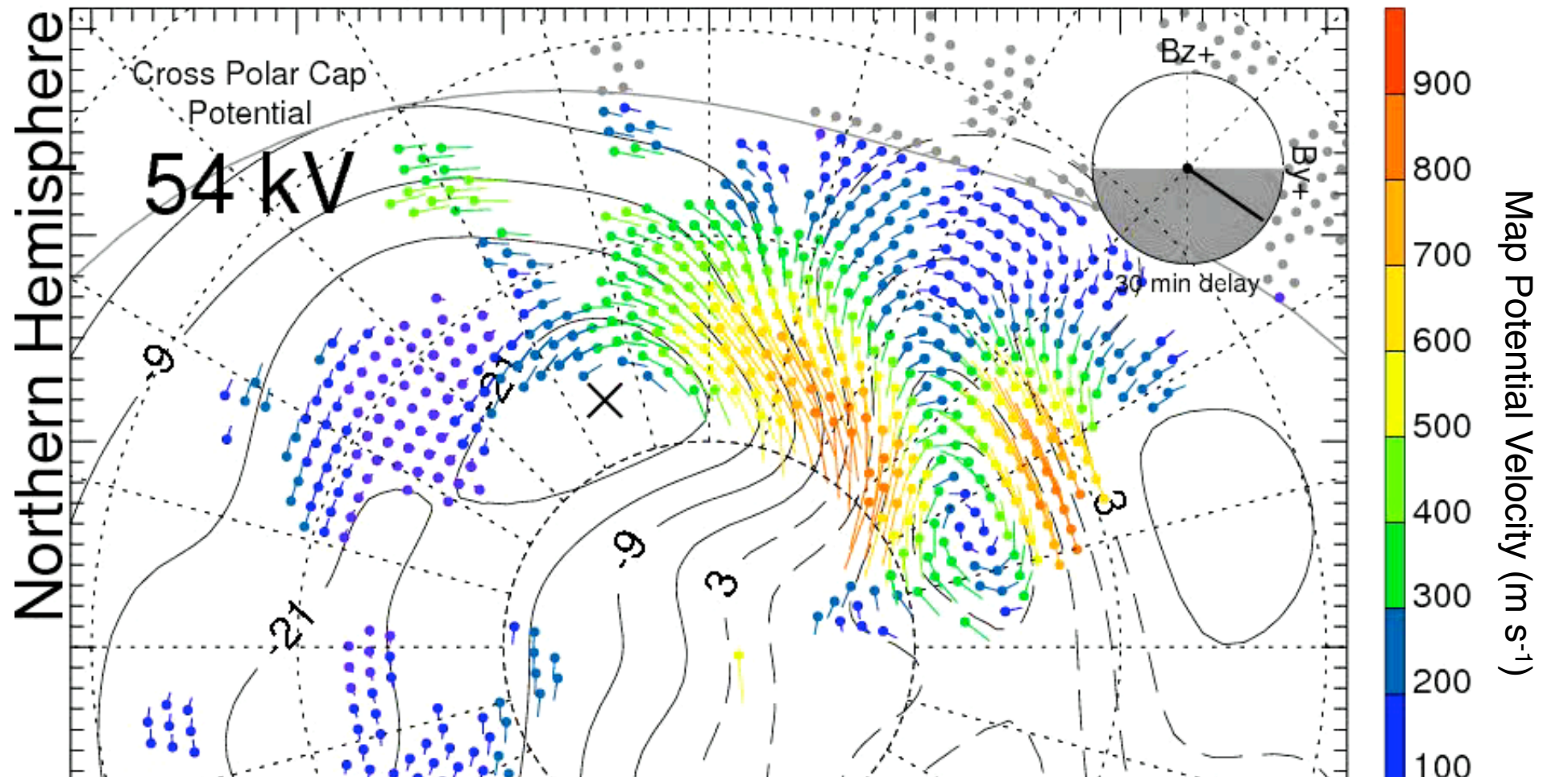


対流の 2 次元マップ

- ✓ Map-potential technique で導出した 2 次元対流パターン
- ✓ 推定励起時刻は, 2310 UT, 0020 UT, 0110 UT

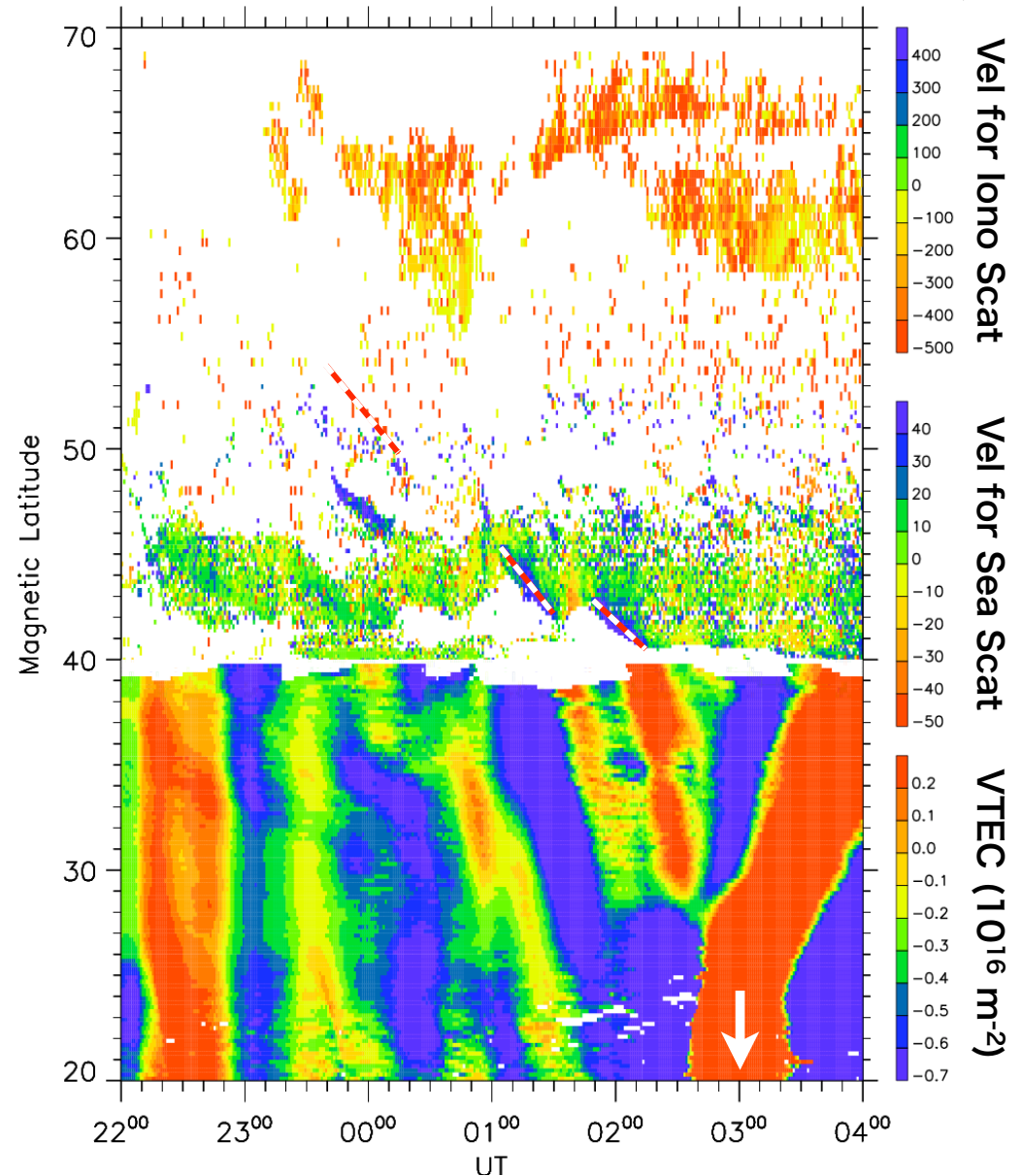
14 Dec 2006

22:00:00 - 22:02:00 UT



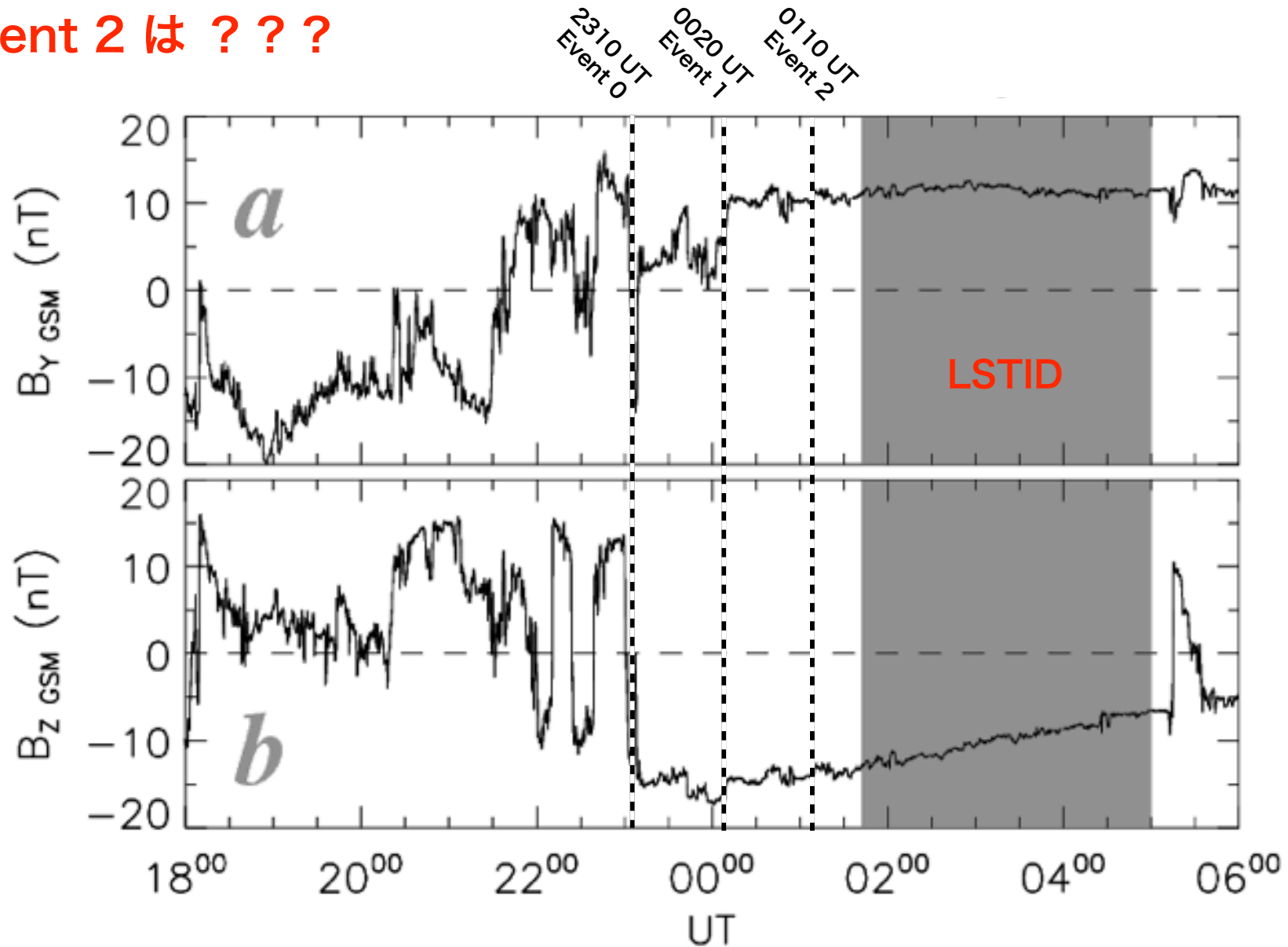
Event 3 (南半球から伝搬?) の起源は?

- ✓ Event 3 は 0300 UT に磁気緯度 20 度に出現
- ✓ ソースが南半球の磁気緯度 65 度の領域だとすると、
- ✓ 緯度 85 度 (= 9500 km) を伝搬。
- ✓ 林論文によると Event 3 の伝搬速度は約 650 m/s
- ✓ $9500 \text{ km} / 0.65 \text{ km s}^{-1}$ をするとだいたい 4 時間
- ✓ 推定励起時刻は 2300 UT
- ✓ Event 0 と Event 3 は南北両半球で同時に生じたものと言えるか?



IMF 起源の対流変化による加熱が起源か？

✓ Event 2 は ???



まとめと今後の課題



IMF の急激な変化



Event 2 については不明...

電離圏対流の変化



ジュール加熱

粒子加熱の寄与は？



赤道方向の中性風



ジュール加熱終了

加熱の終了は何が決める？

電場増大の時間幅？

中性大気の応答の時定数？



極向きの中性風

赤道向き風に伴う変動は
何故レーダーで見えない？



LSTID として TEC or SuperDARN で観測される