

# VHF帯電磁波の異常伝播観測による 地震予報 - 東北地方太平洋沖地震の 8か月前から観測されていた異常伝播

森谷武男(電波地震学)

茂木 透・山下晴之

北海道大学大学院理学院附属地震火山研究観測センター

2011年5月28日

日本科学未来館7階 会議室1

# 前兆はどうあるべきか

前兆とは:

- #1 地震との時空間の相関を持つ.
- #2 前兆と地震との間に規則的定量的な関係がある.
- #3 現象の再現性が明瞭である.
- #4 地震波地震学から考えられるFaulting Processの一部である.

前兆的VHF伝播異常はKushida and Kushida (2000)によって発見された.

森谷他(2005)は散乱波であると考え観測方法を考案した.

# 前兆的な電磁気現象

- 地電流の異常

ギリシャで開発されたVAN法 成功例多数

雑音の強い日本で試みられたが、

- 電磁波雑音の放射

受動的観測

Gohkberg et al, (1982) 初めて報告

アメリカで超低周波電磁波を観測

日本でも観測例(兵庫県南部地震など)

- 電波伝播異常の発生

能動的観測

長波, 超短波帯で確認 →

**有効**

# VHF電波伝播・放射異常

変動形状がすべて異なるので判別が可能

太陽フレア・銀河雑音

流星エコー

スポラディックE層の擾乱

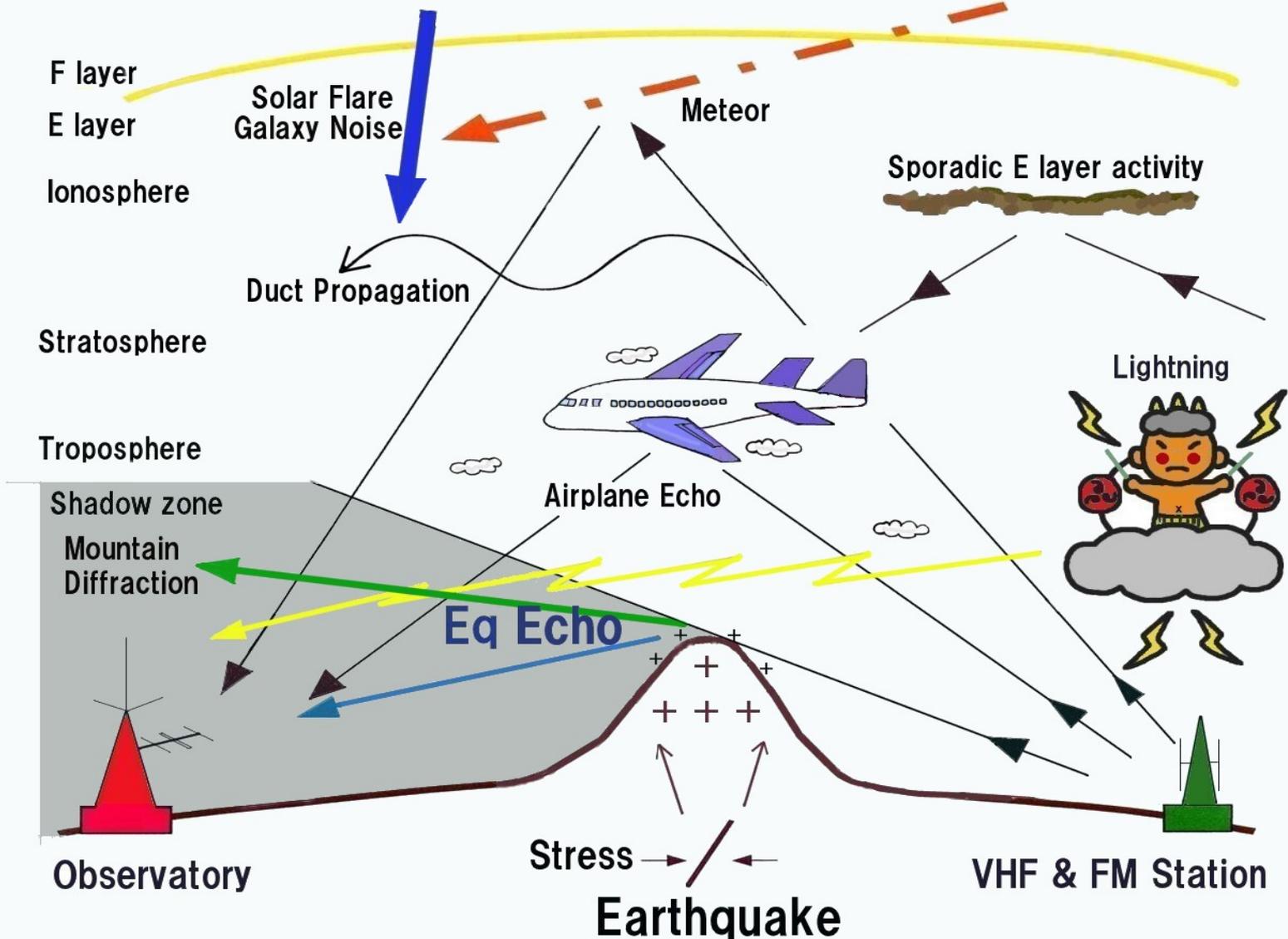
雷放電の雑音

飛行物体からの反射

山岳回折波

地震火山活動関連の異常伝播 地震エコー

# Abnormal propagation of VHF wave



# 地震エコーとは

## 時空間特性

発生時間, 震央, 発信局との関係,  
同時性, 散乱体の移動

## 統計的性質

地震の強さ(震度,  $M$ , 深さ)との関係

## 物理的性質

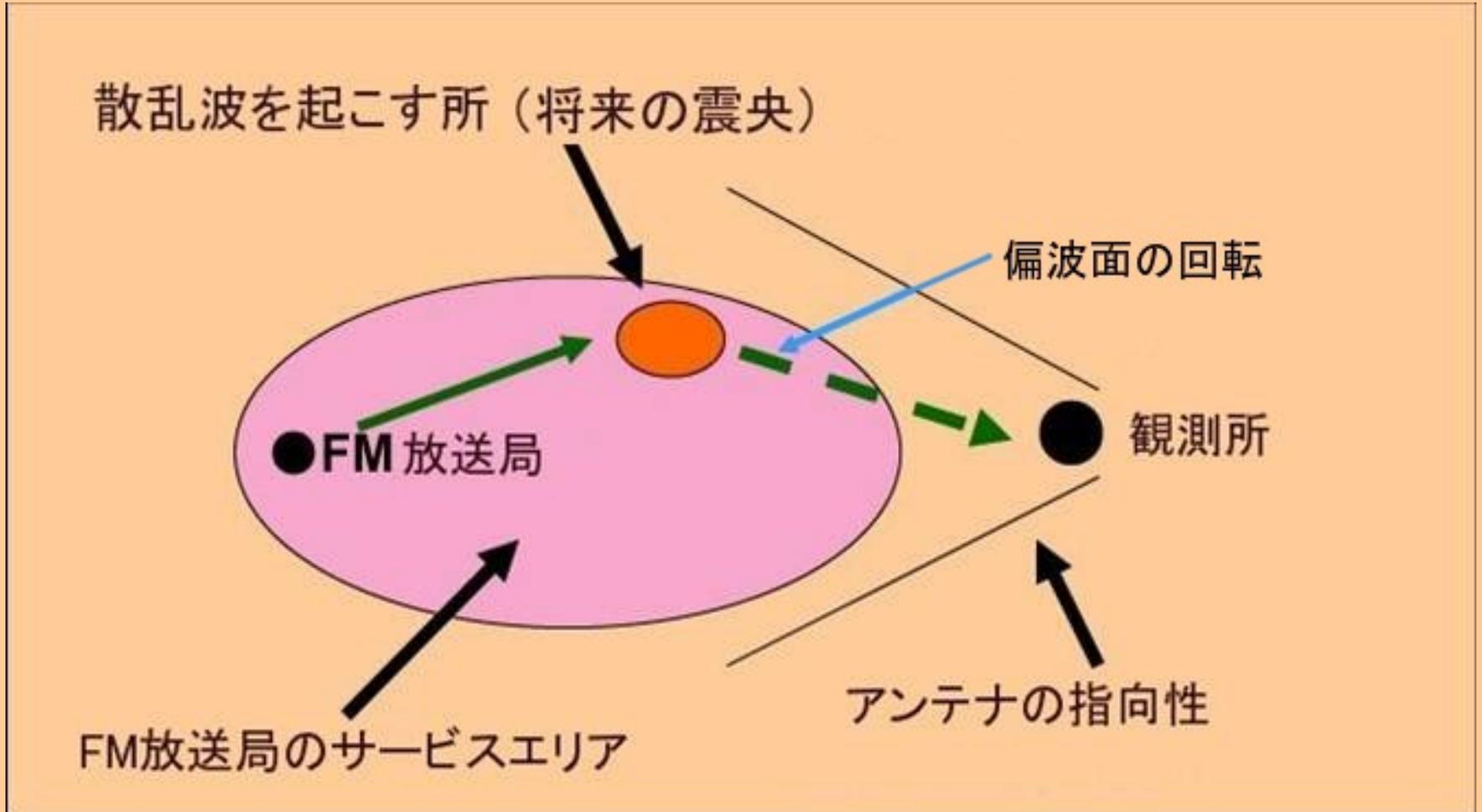
方位特性

偏波特性

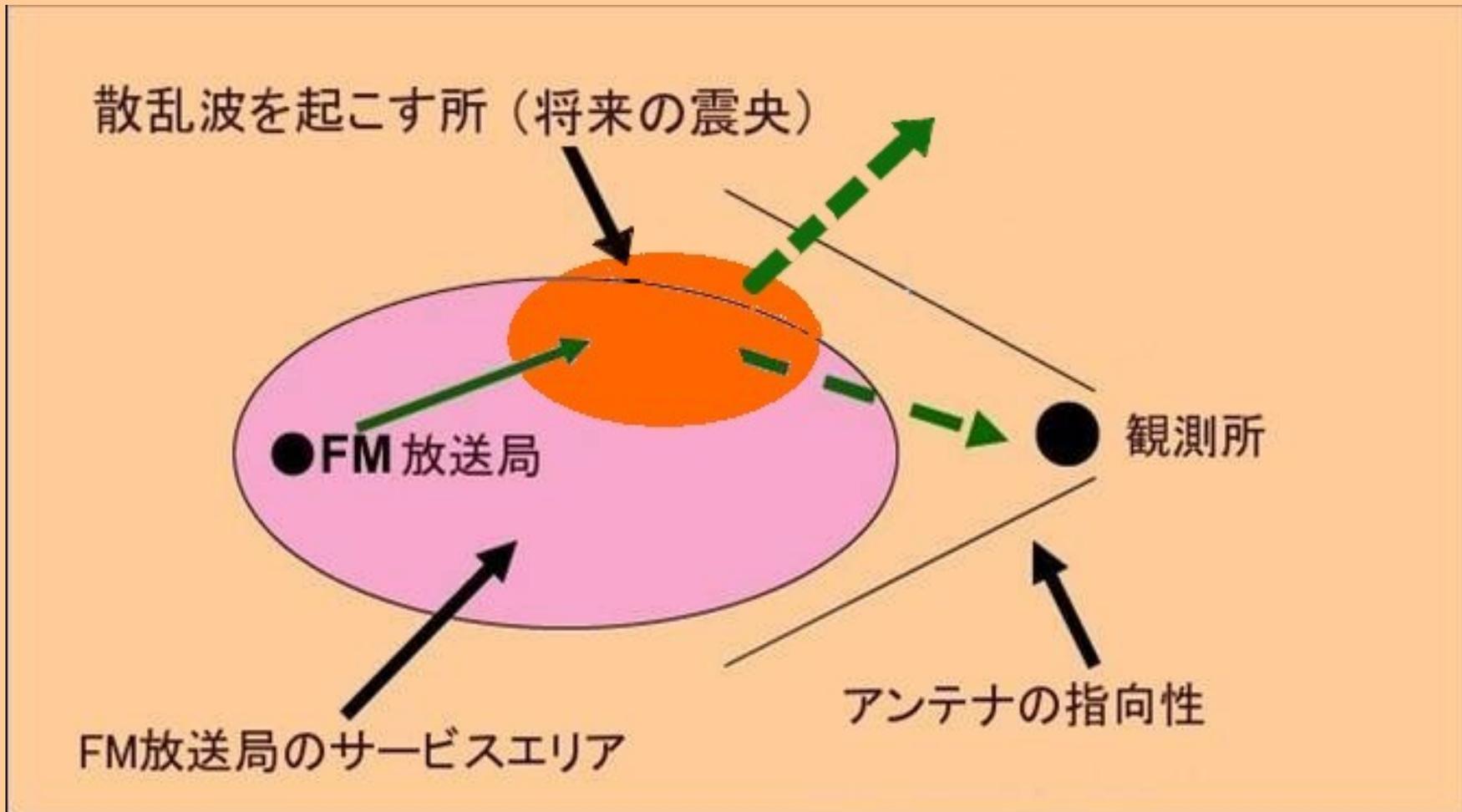
大気電場との関係

成因のメカニズム

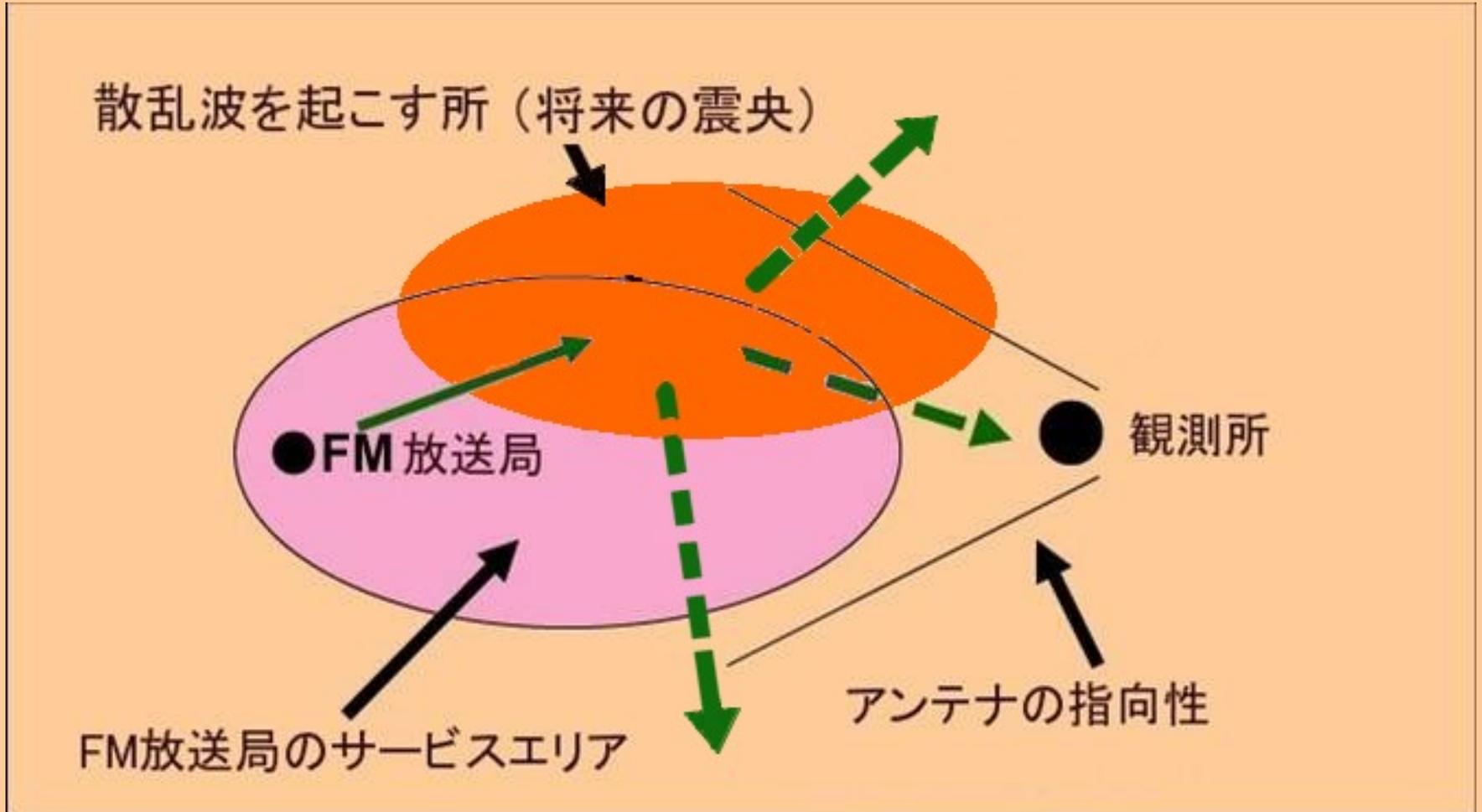
サービスエリアと観測点の間に地震が発生しようとする時  
地震エコーが発生する。



Mが大きいほど地震エコーを起こす面積が大きくなる

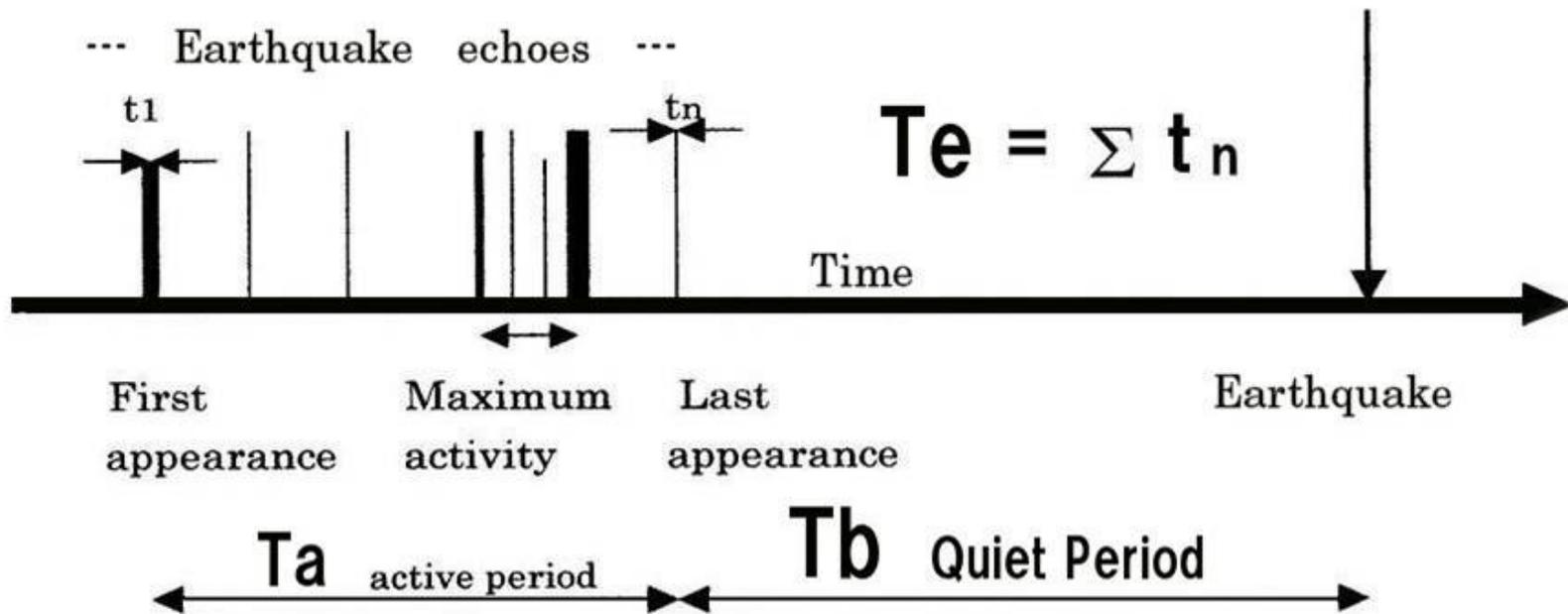


Mが大きいほど地震エコーを起こす面積が大きくなる



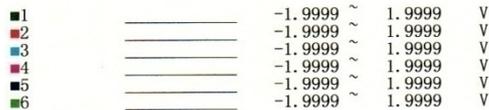
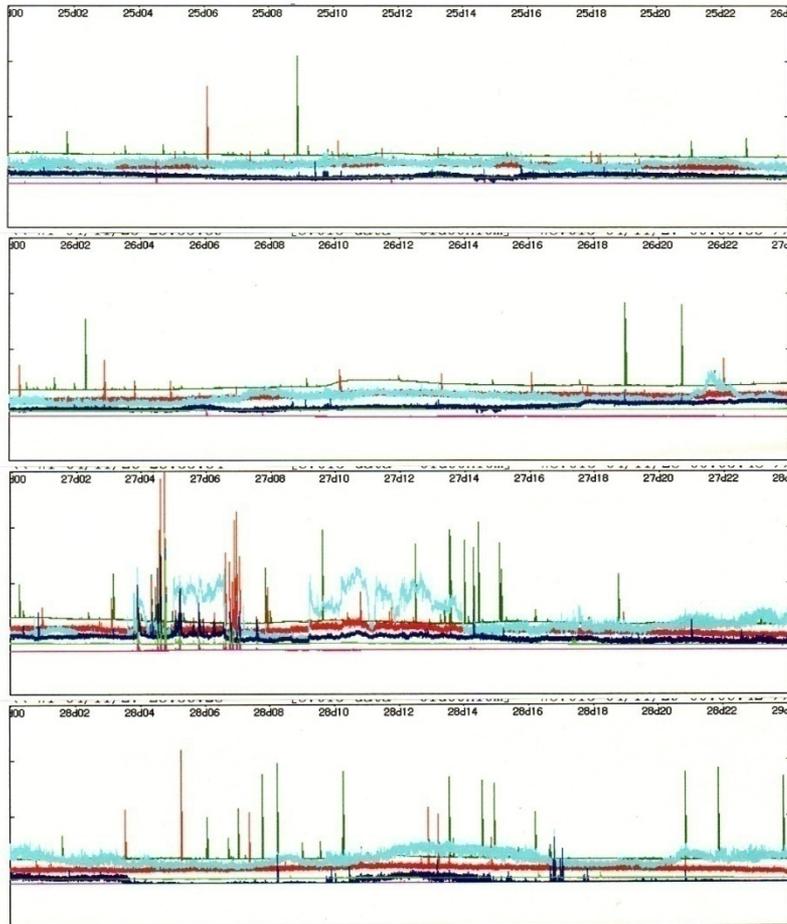
# 地震エコーの時系列

$T_e$ : 地震エコーの継続時間の総和  
 $T_a$ : 活動日数,  $T_b$ : 静穏期の日数

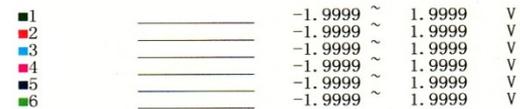
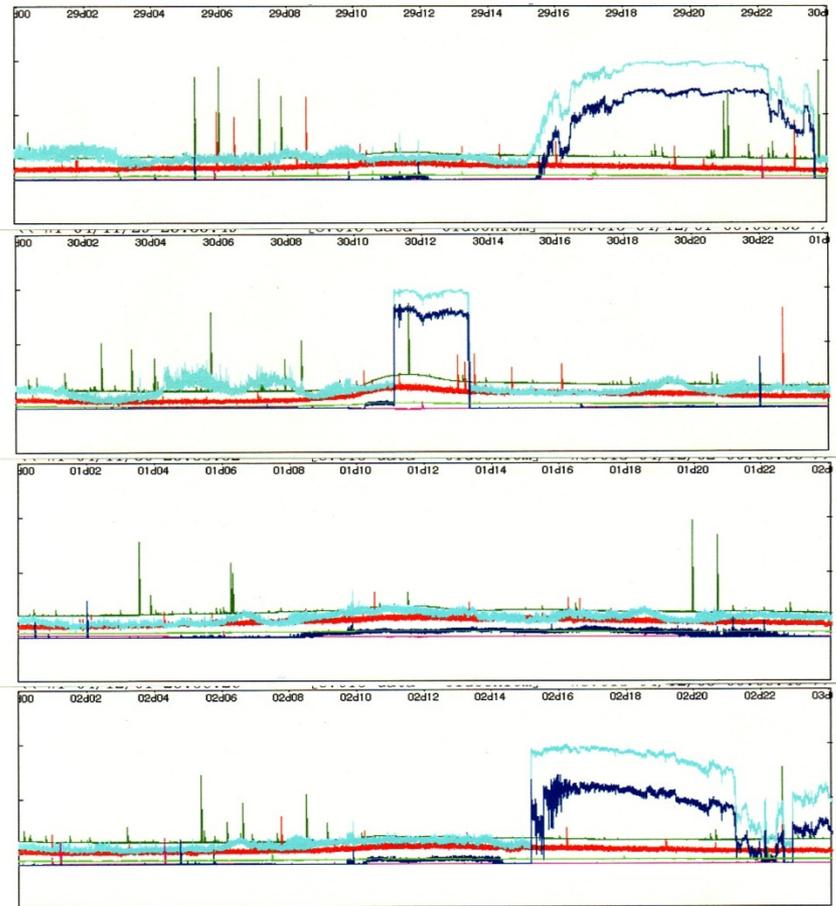


# 地震前兆電波伝播異常の例

## ERM '04 Nov. 25-28

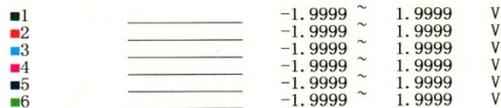
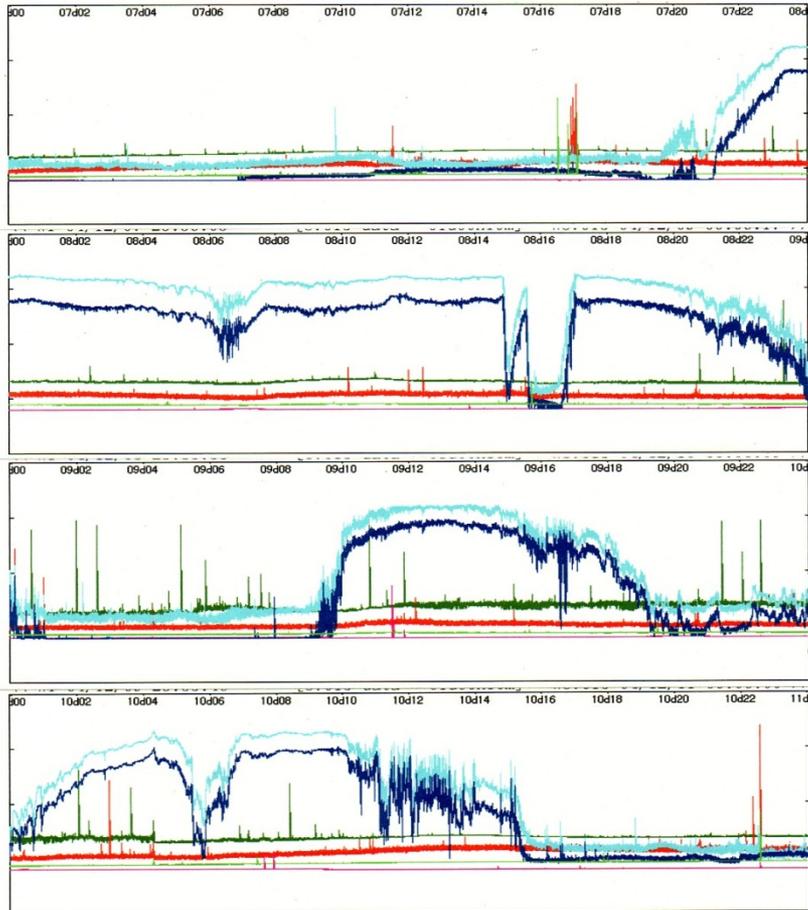


## ERM '04 Nov. 29- Dec. 02

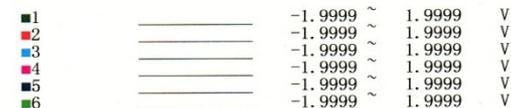
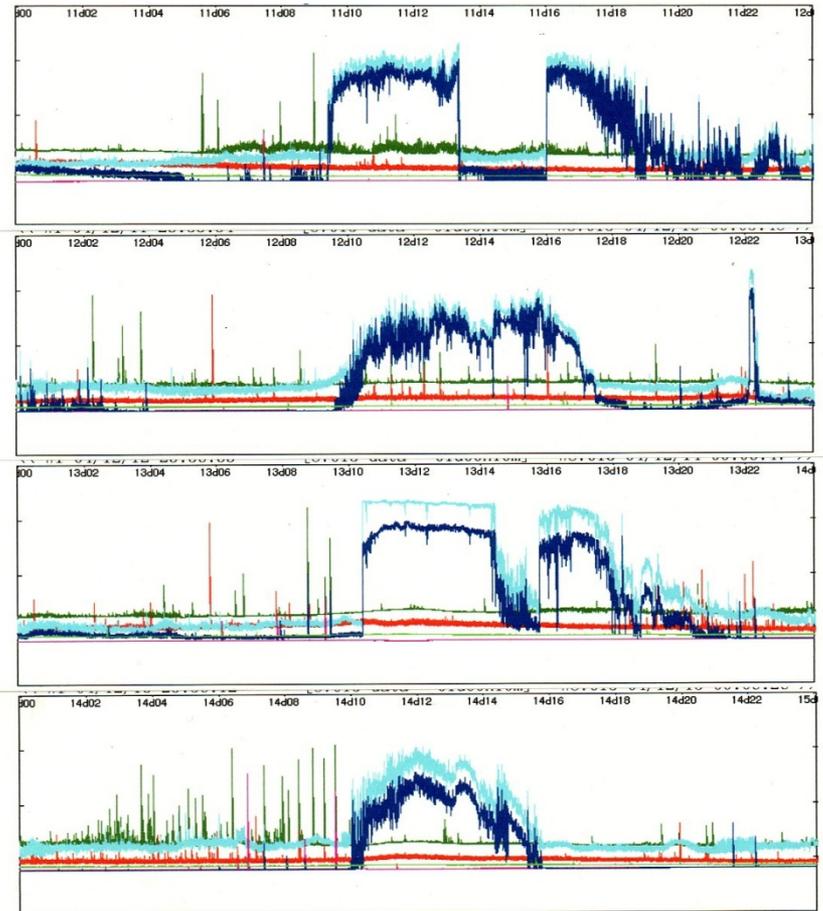


縱軸：電界強度，橫軸：時間(0時—24時)

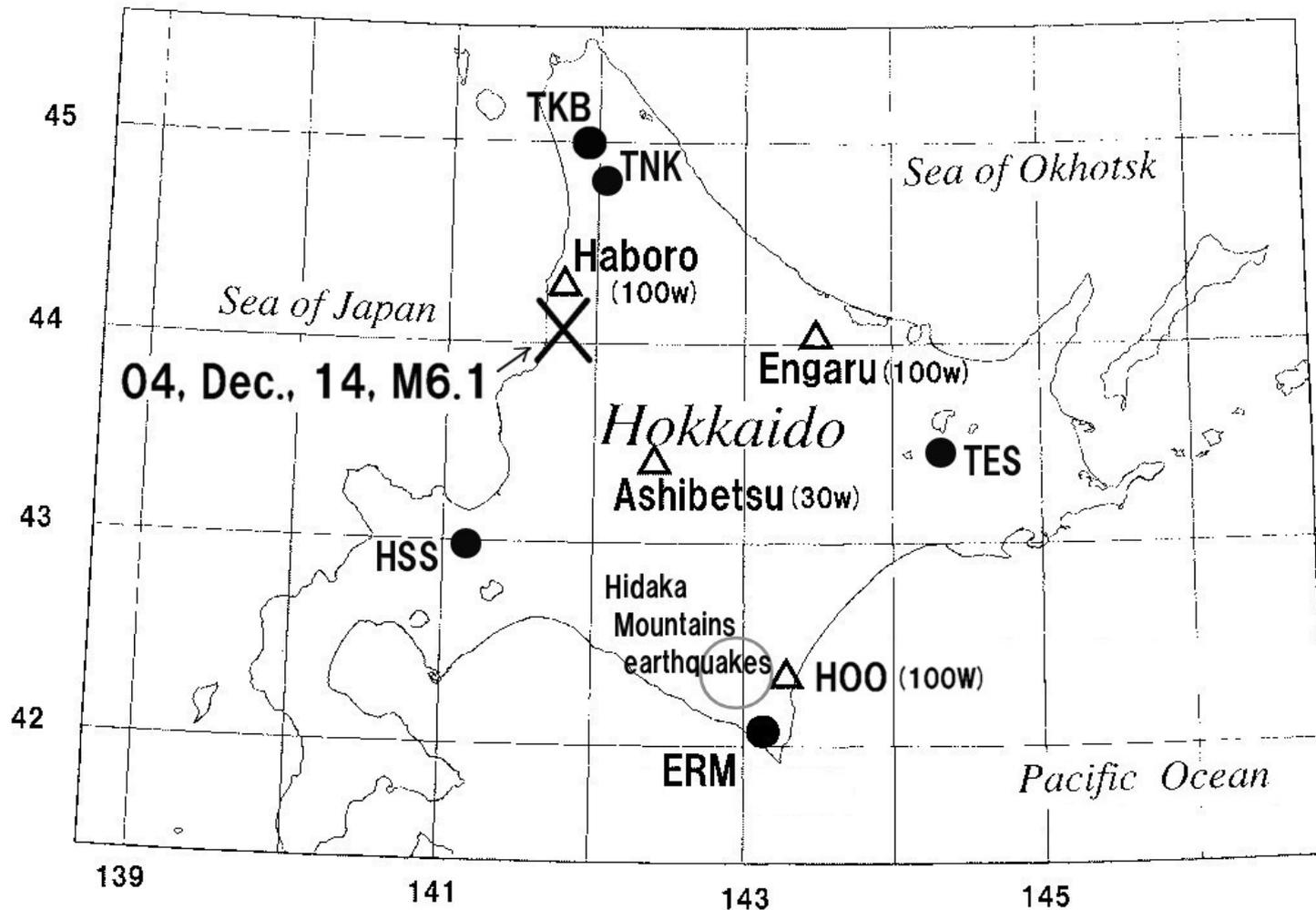
ERM '04 Dec. 07-10



ERM '04 Dec. 11-14

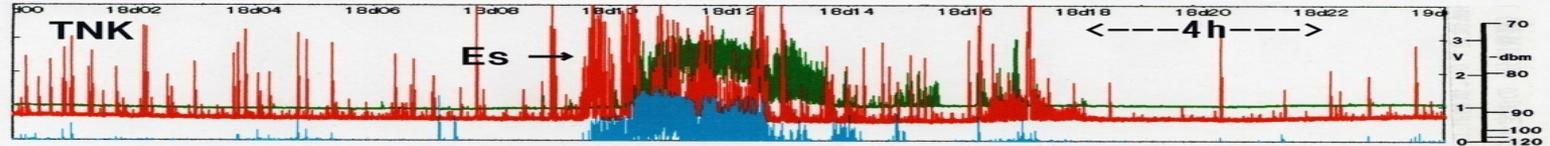


# 83.8MHzの放送局は4ヶ所ある 留萌北部で82年ぶりでM6.1

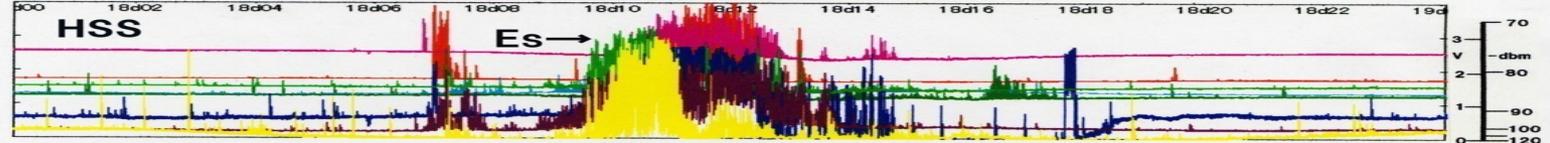


# スプラディックE層の擾乱. 夏至を挟んで夏の昼間に現われる 北海道では台湾・韓国・西日本のFM局からの電波 が強烈に伝播してくる.

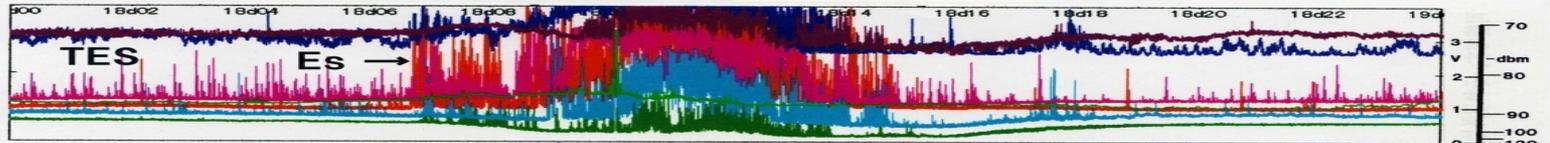
2004 Jun. 18, 0h - 24h



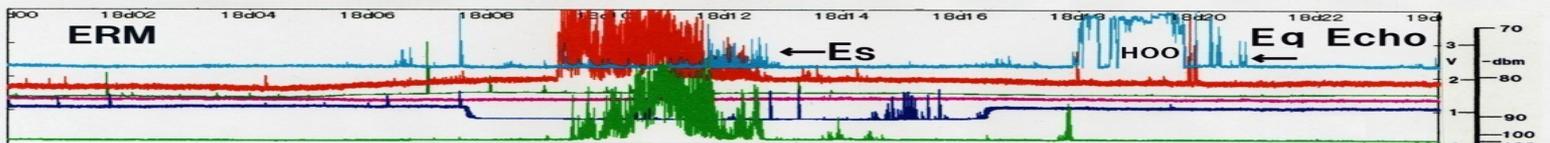
4	KUS <sup>b</sup>	88.5 MHz	-2.17341	~	1.82639	V
5	CBA	78.0 MHz	-2.17341	~	1.82639	V
6	FUK	85.3 MHz	-0.657501	~	7.3421	V



1	NYR	88.2 MHz	-1.99999	~	1.99999	V
2	KUS <sup>b</sup>	88.5 MHz	-2.99985	~	0.99995	V
3	AKI	86.7 MHz	-1.99999	~	1.99999	V
4	MAB	86.3 MHz	-2.99985	~	0.99995	V
5	NKS	89.9 MHz	-0.99995	~	2.99985	V
6	URA	86.1 MHz	-1.99999	~	1.99999	V
7	HCI	78.4 MHz	-0.99995	~	2.99985	V
8	OBI	78.5 MHz	-0.99995	~	2.99985	V



1	URA	86.1 MHz	-0.99995	~	2.99985	V
2	NIG	77.5 MHz	-1.99999	~	1.99999	V
3	HAK	88.8 MHz	-1.99999	~	1.99999	V
4	NGY	77.8 MHz	-1.99999	~	1.99999	V
5	HOO	83.8 MHz	-6.03623	~	1.96337	V
6	No Station	81.1 MHz	-1.99999	~	1.99999	V
7	NKS	89.9 MHz	-6.03623	~	1.96337	V



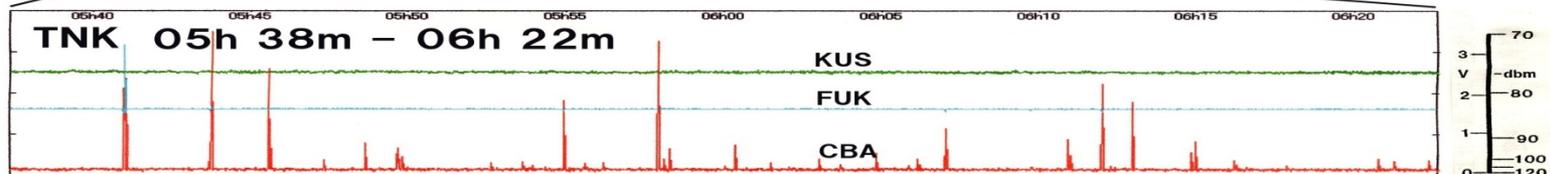
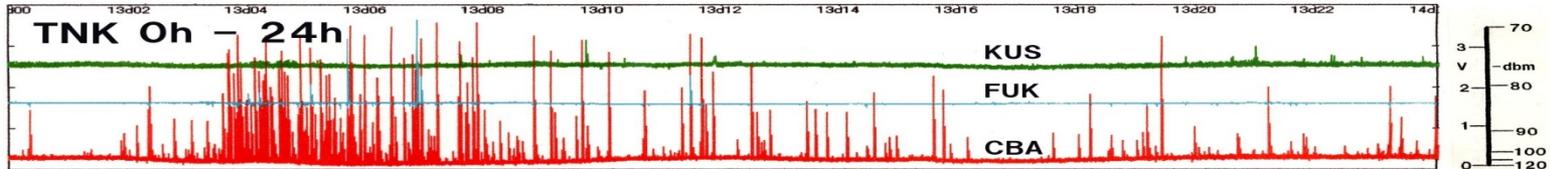
1	ASA	76.4 MHz	-1.99999	~	1.99999	V
2	NKS	89.9 MHz	-1.99999	~	1.99999	V
3	HOO	HBR 83.8 MHz	-2.99985	~	0.99995	V
4	AKI	86.7 MHz	-1.99999	~	1.99999	V
5	SZN	84.0 MHz	-1.99999	~	1.99999	V
6	ASY	89.7 MHz	-0.99995	~	2.99985	V

# 流星エコーの例

## 2004年12月13日の双子座流星群

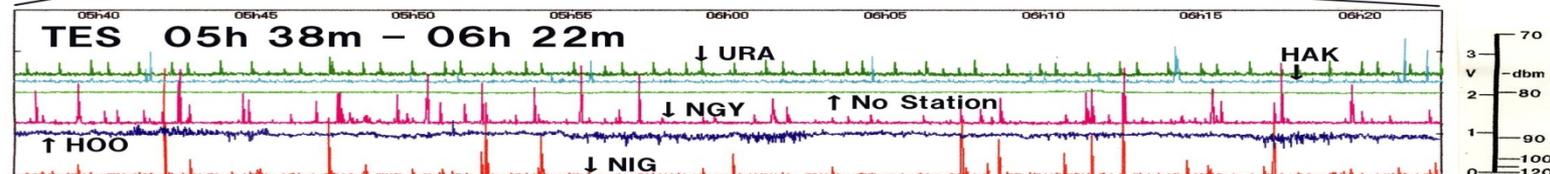
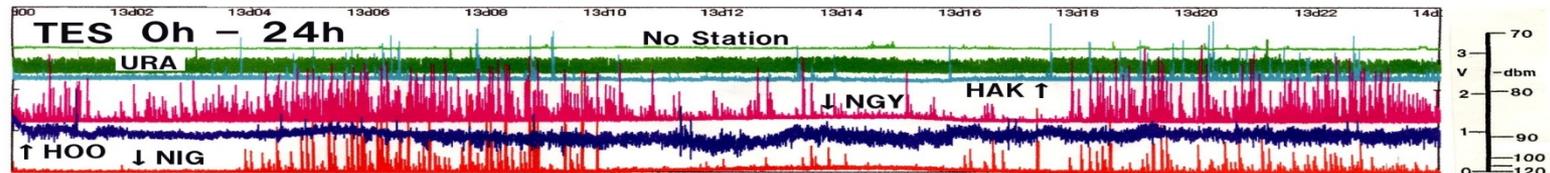
### Meteor Echoes from Gemini

2004 Dec. 13



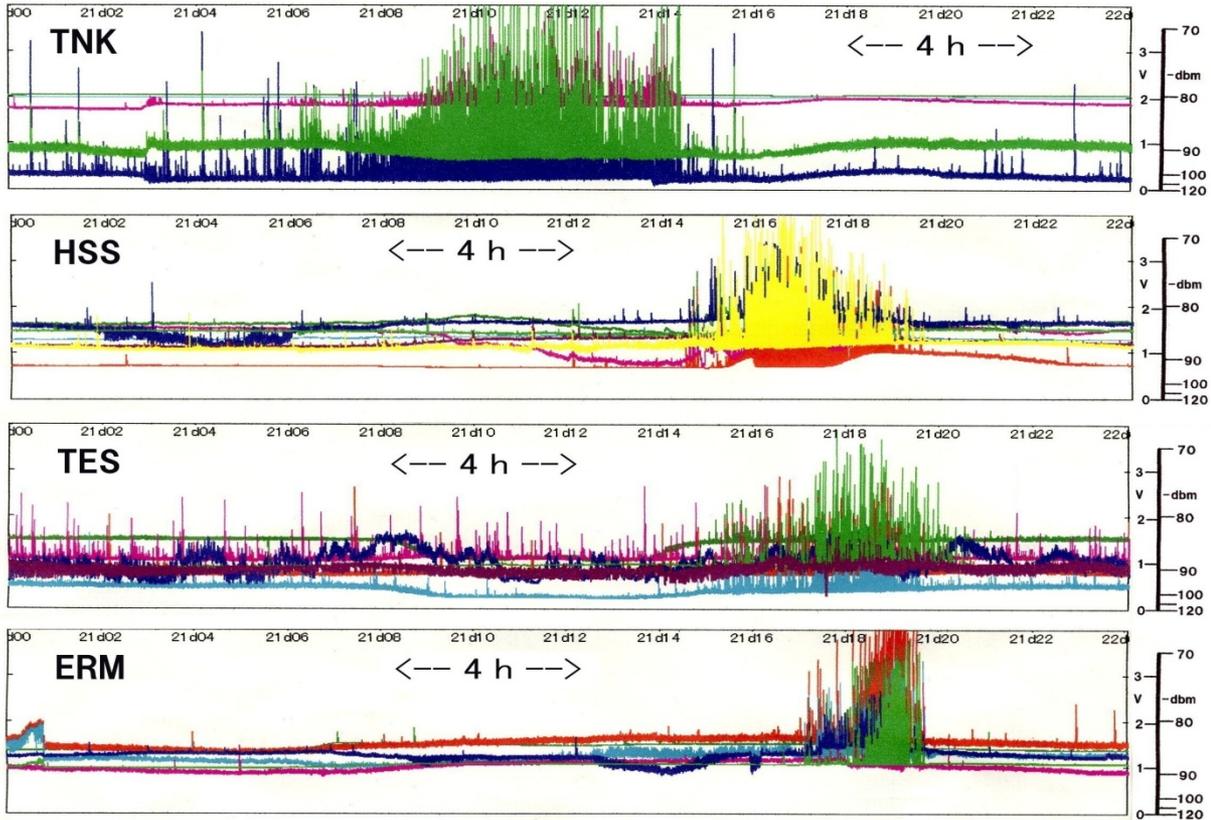
1	KUS	88.5 MHz	-3.9998	~	0	V
2	CBA	78.0 MHz	-1.9999	~	1.9999	V
3	FUK	85.3 MHz	-2.99985	~	0.99995	V

URA

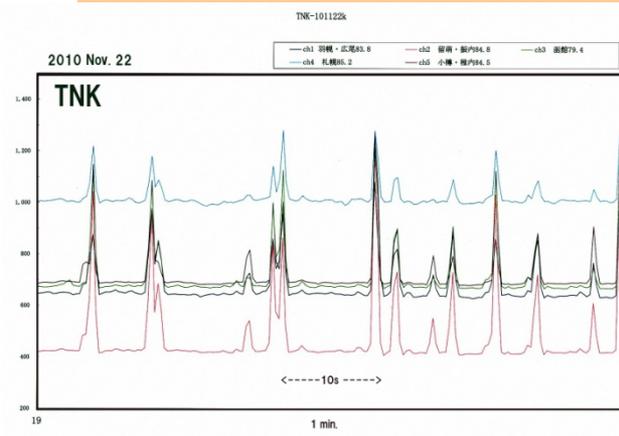


1	URA	86.1 MHz	-2.99985	~	0.99995	V
2	NIG	77.5 MHz	-0.99995	~	2.99985	V
3	HAK	88.8 MHz	-2.99985	~	0.99995	V
4	NGY	77.8 MHz	-1.9999	~	1.9999	V
5	HOO	83.8 MHz	-0.99995	~	2.99985	V
6	No Station	81.1 MHz	-2.99985	~	0.99995	V

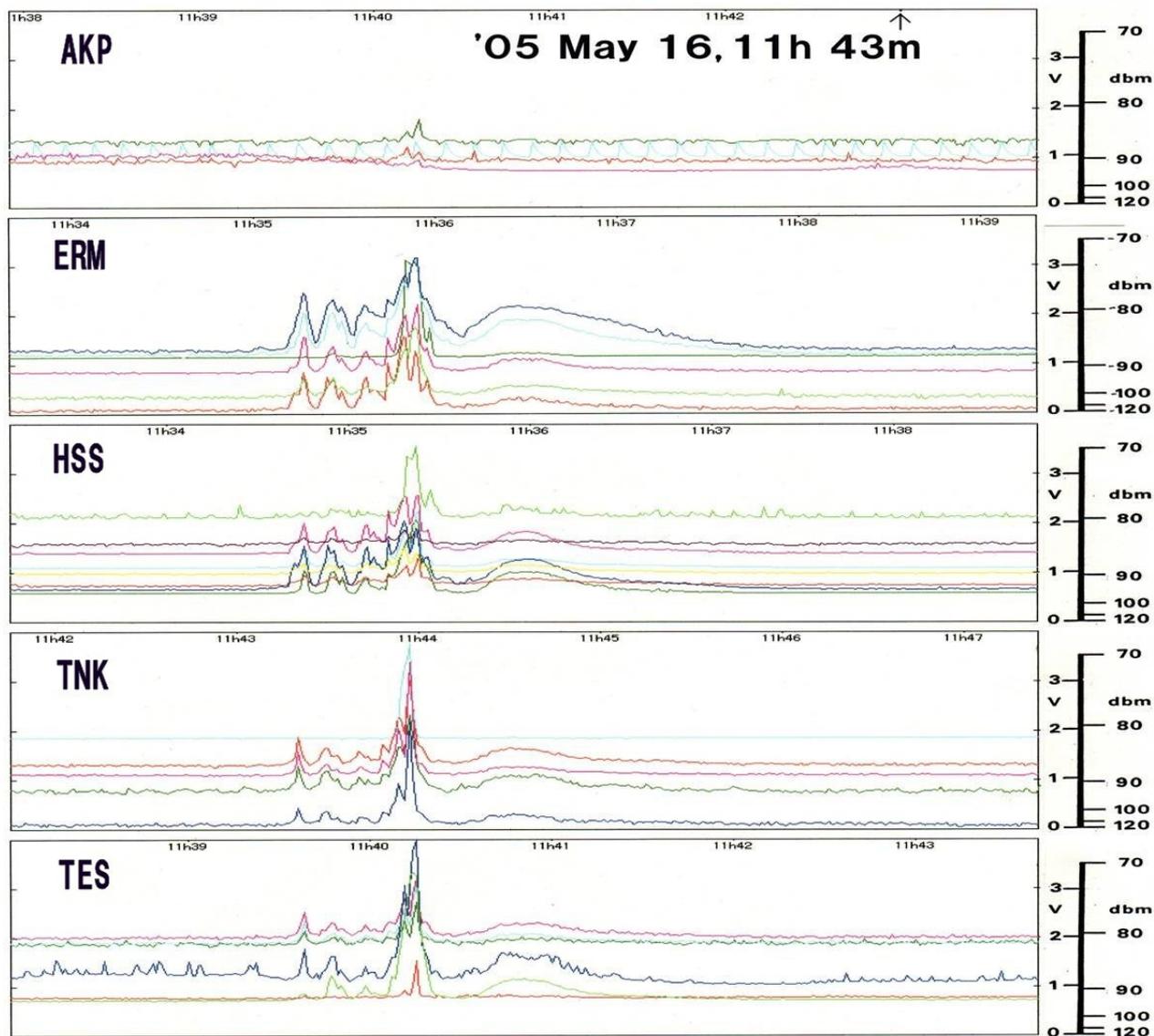
2004 Aug. 21, 0h - 24h



雷雲が北海道  
の北西から南  
東へ移動した  
ことが記録か  
らわかる



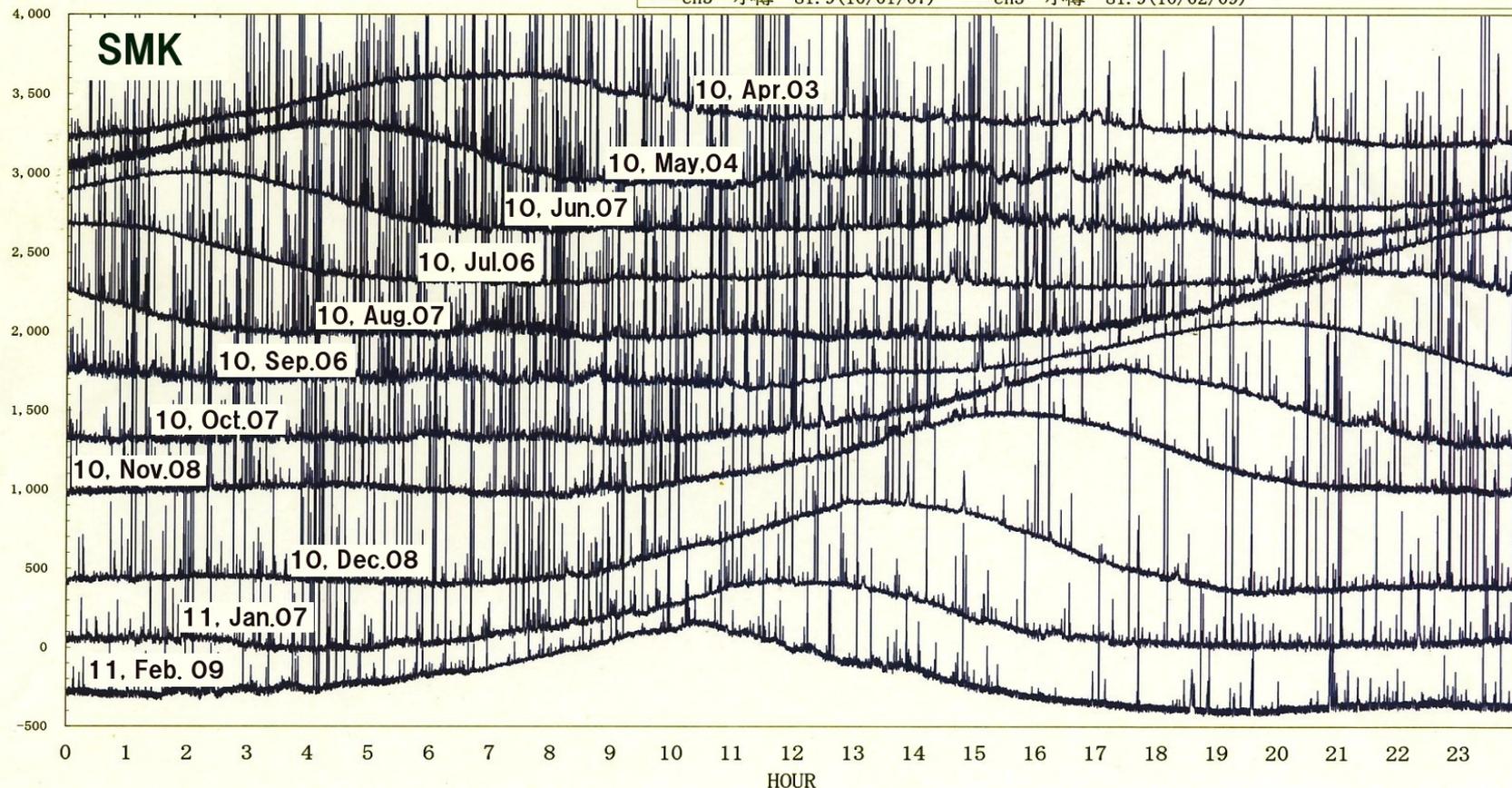
# Solar Flare の例



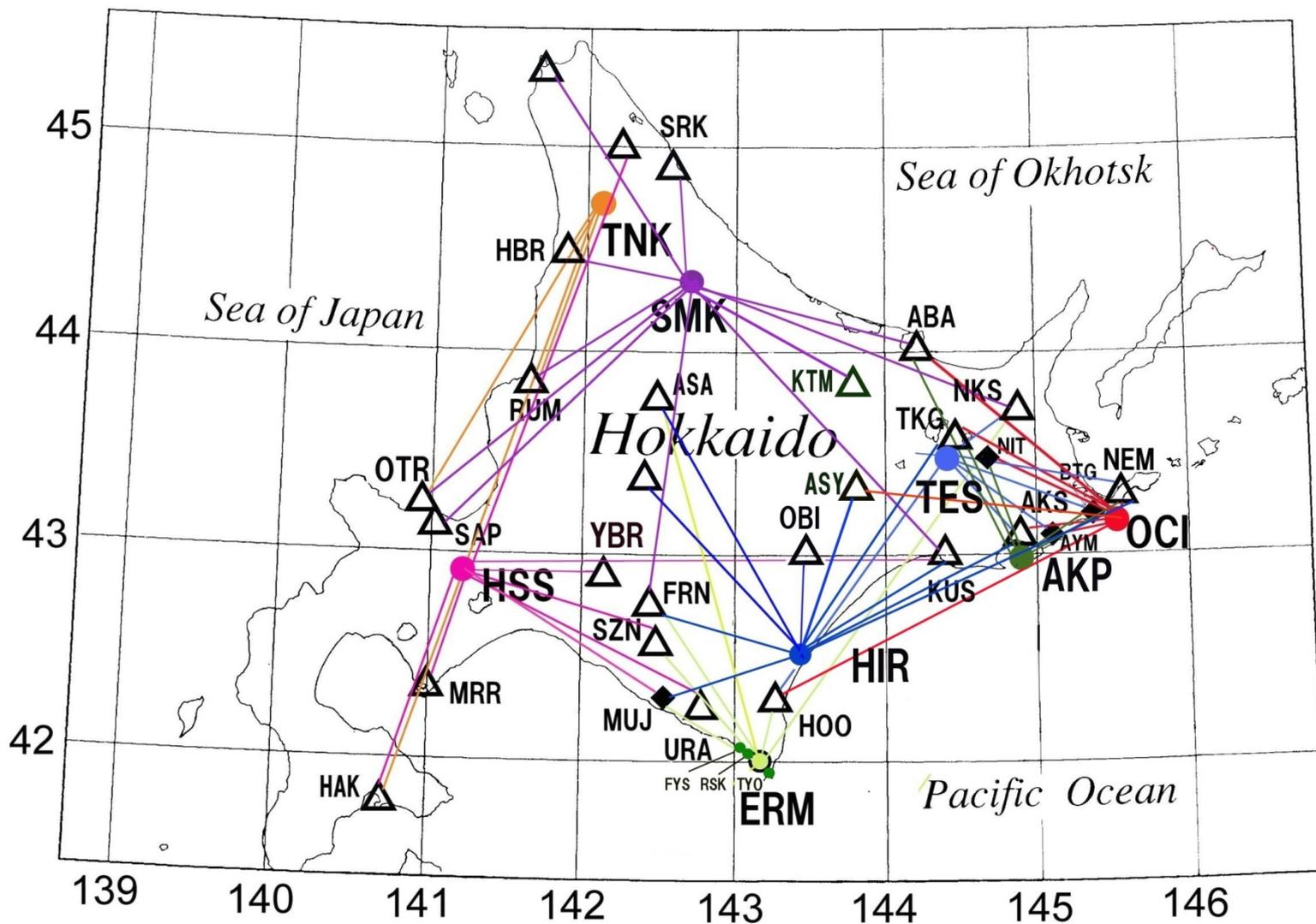
カールジャンスキーが1933年に発見した銀河雑音の例(11ヶ月分). いて座の方向から出ている電波で一ヶ月で2時間早く現われるようになる. パルスは流星エコー

SMK-3ch

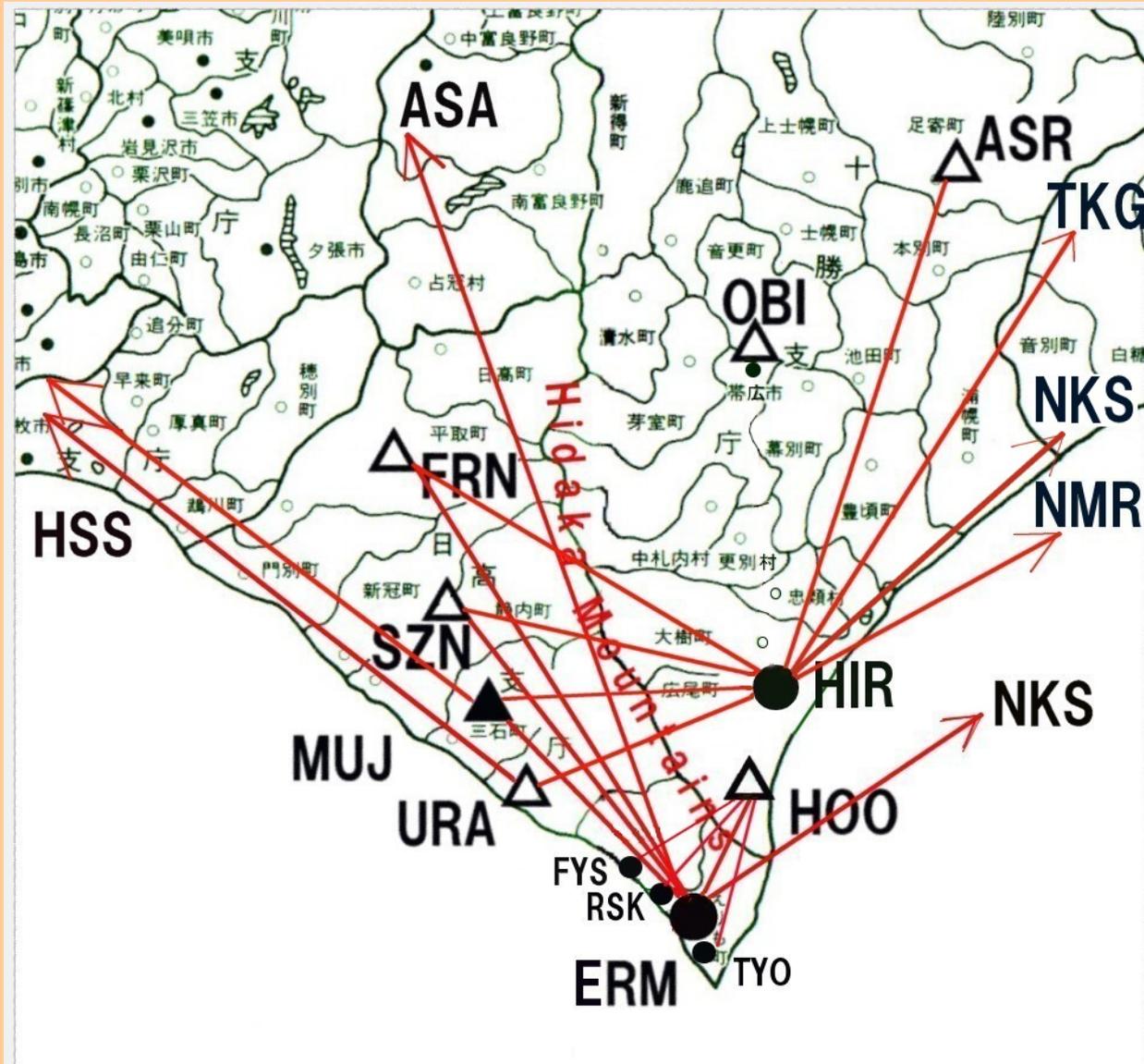
—ch3 小樽 81.9(10/04/03)	—ch3 小樽 81.9(10/05/04)	—ch3 小樽 81.9(10/06/07)
—ch3 小樽 81.9(10/07/06)	—ch3 小樽 81.9(10/08/07)	—ch3 小樽 81.9(10/09/06)
—ch3 小樽 81.9(10/10/07)	—ch3 小樽 81.9(09/11/08)	—ch3 小樽 81.9(09/12/08)
—ch3 小樽 81.9(10/01/07)	—ch3 小樽 81.9(10/02/09)	



# 放送局(△)観測点(●), 発信点(◆)の位置



# えりも付近にある4力所の観測点 NHKFM広尾発信局83.8Mhz,100Wを目標としている



# 根室市落石観測点



# 下川町の観測点



# 厚岸町愛冠観測点



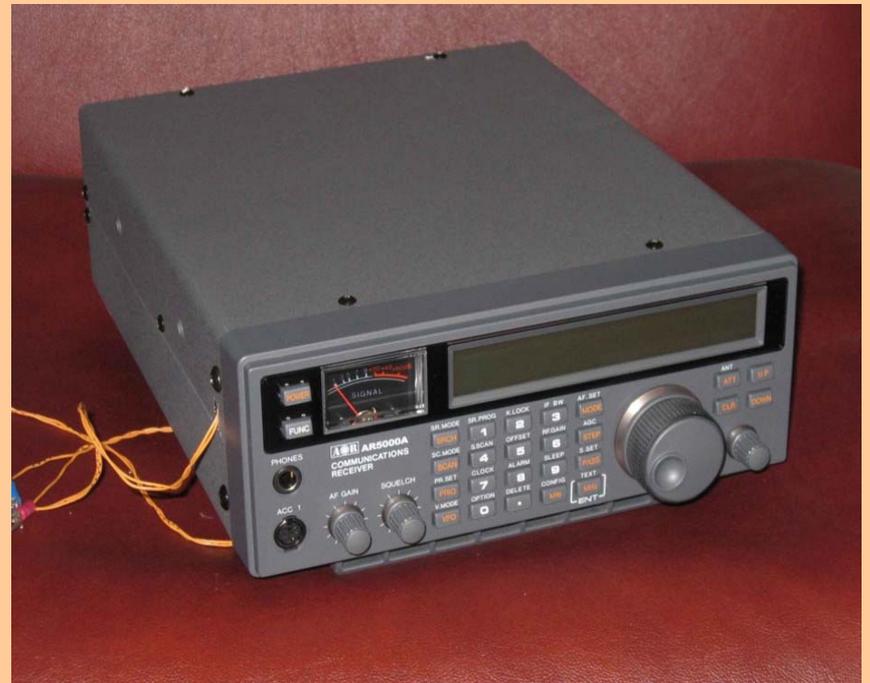


鉄製コンテナの内部

# 弟子屈町仁多電波発信点



64MHz発信器 →  
新日高町発信点 ↓ 受信機 →



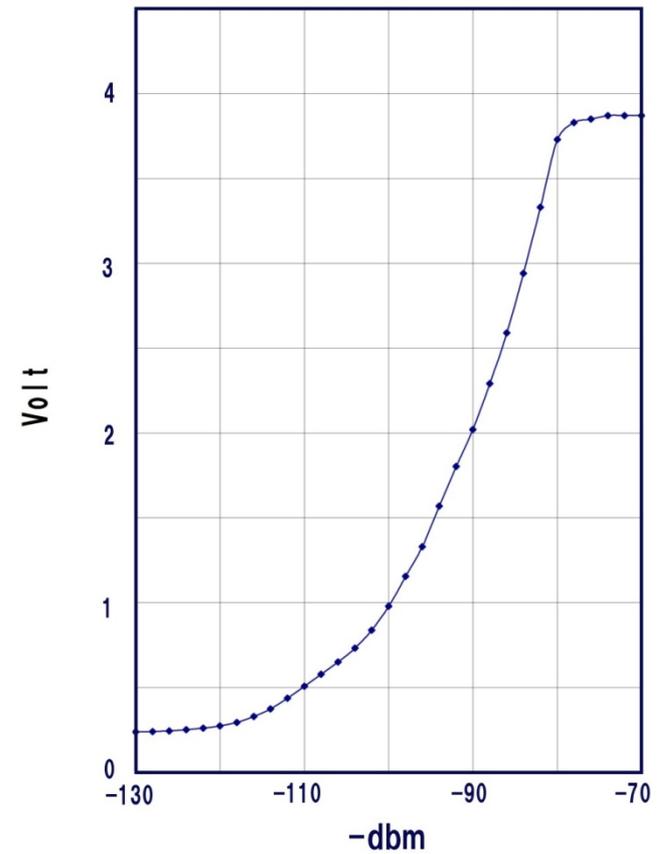
~62台目, さらにもっと



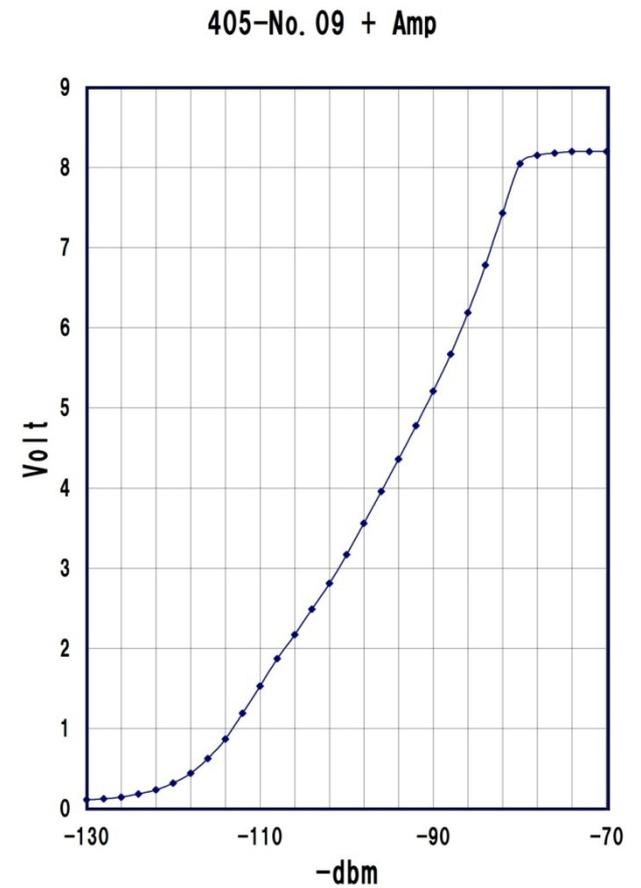
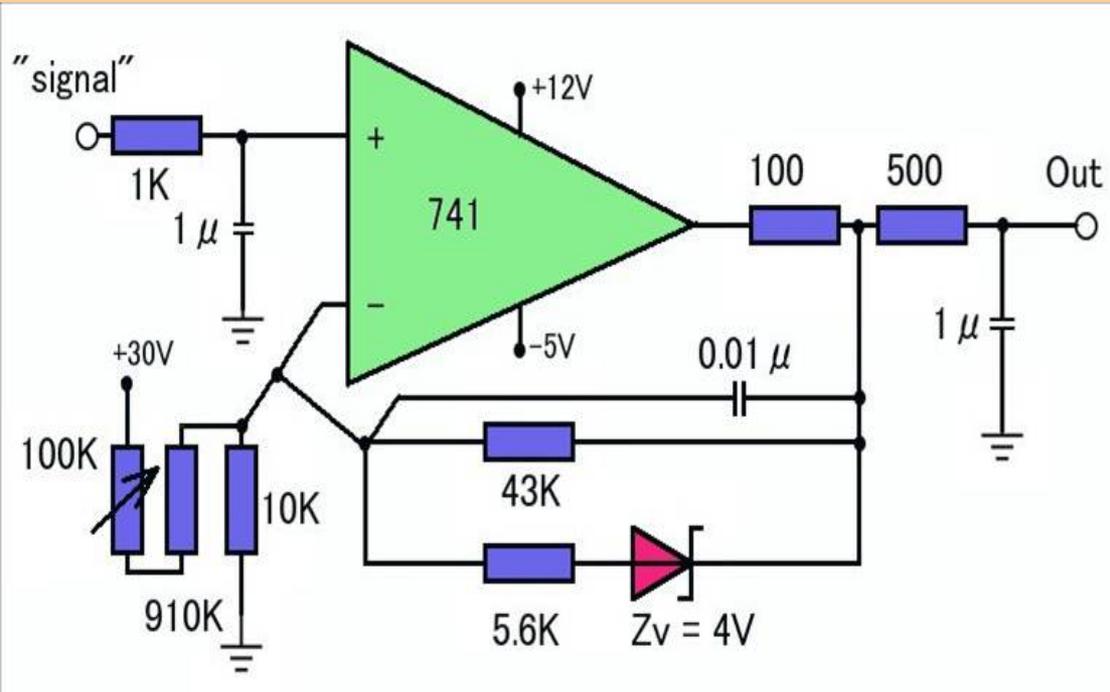
# 受信機にはオンキヨー405 型FMチューナーを使う



Onkyo 405 "signal"



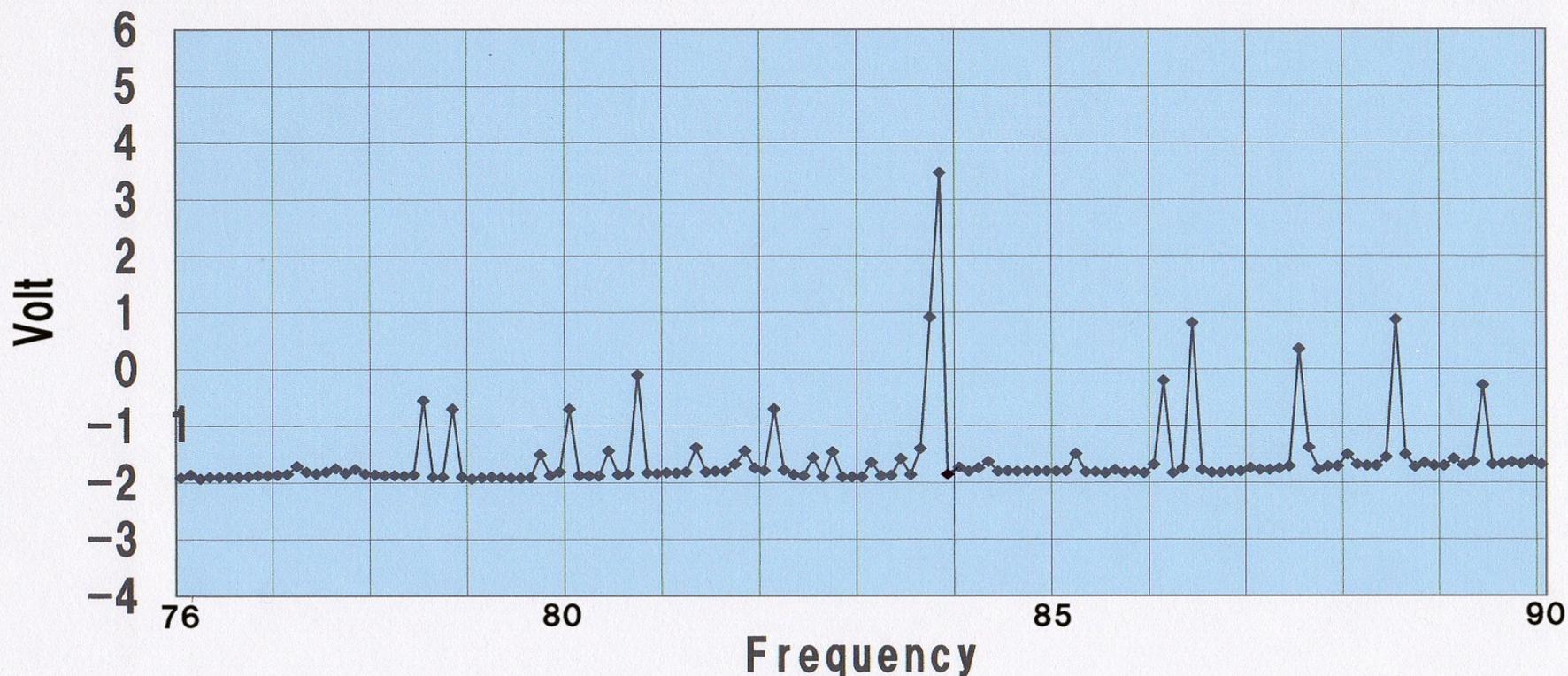
# 感度を揃えるための補助回路





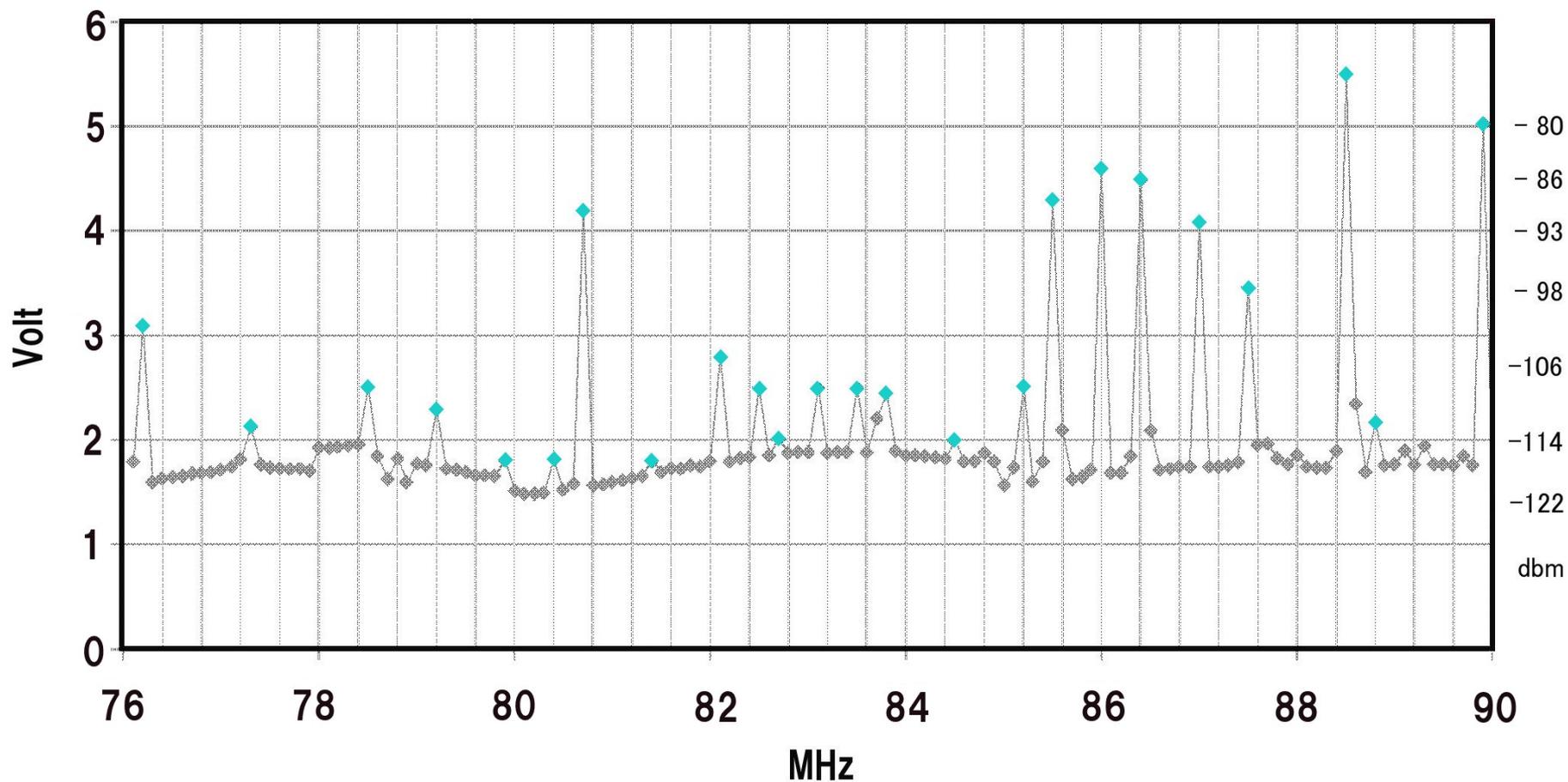
広尾町HIR観測点におけるFM帯の電界強度. ノイズレベルは  
-118dbm程度で, レベルの上昇している周波数はすべて  
放送波である.

HIR - Northeast

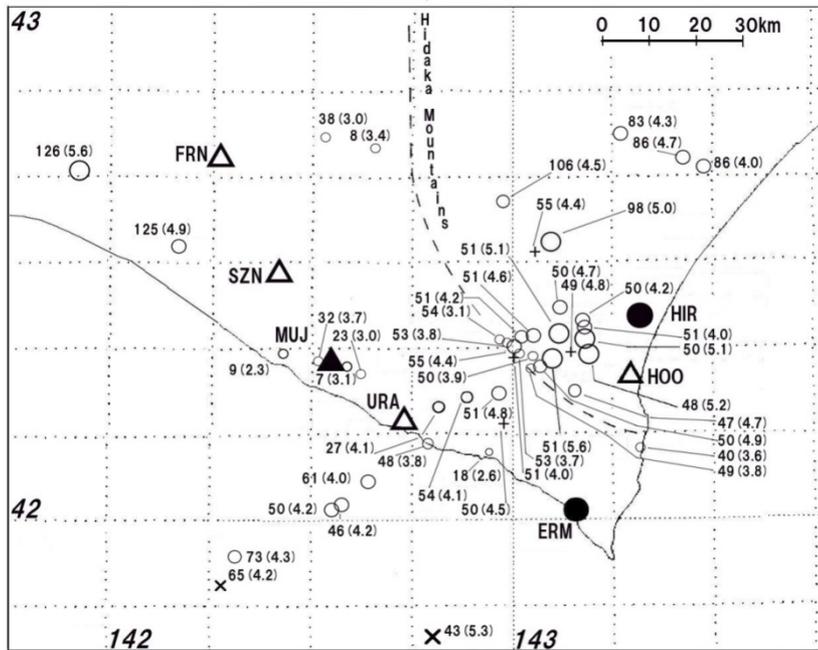


# 厚岸町愛冠AKK観測点におけるFM帯の電界強度

AKP → North ( oblique 3 elements Yagi Ant. )

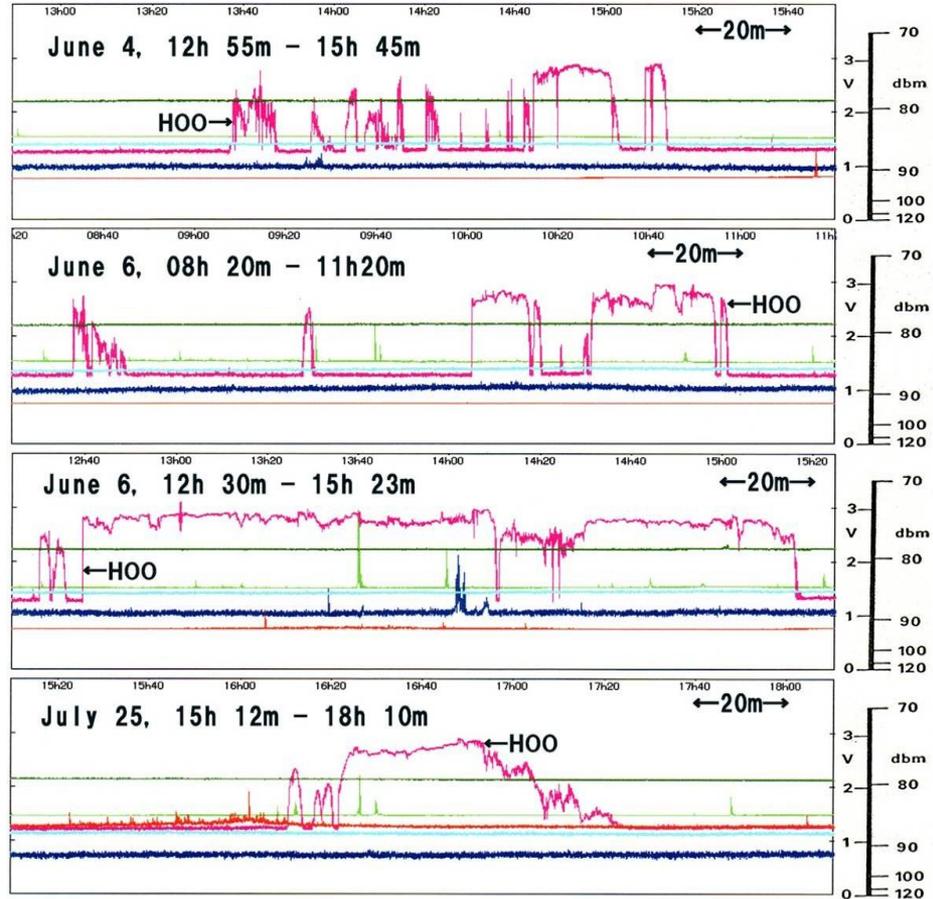


# エリモ観測点で広尾からのFM放送波を観測すると 数日後(0~9日後)地震が起こる



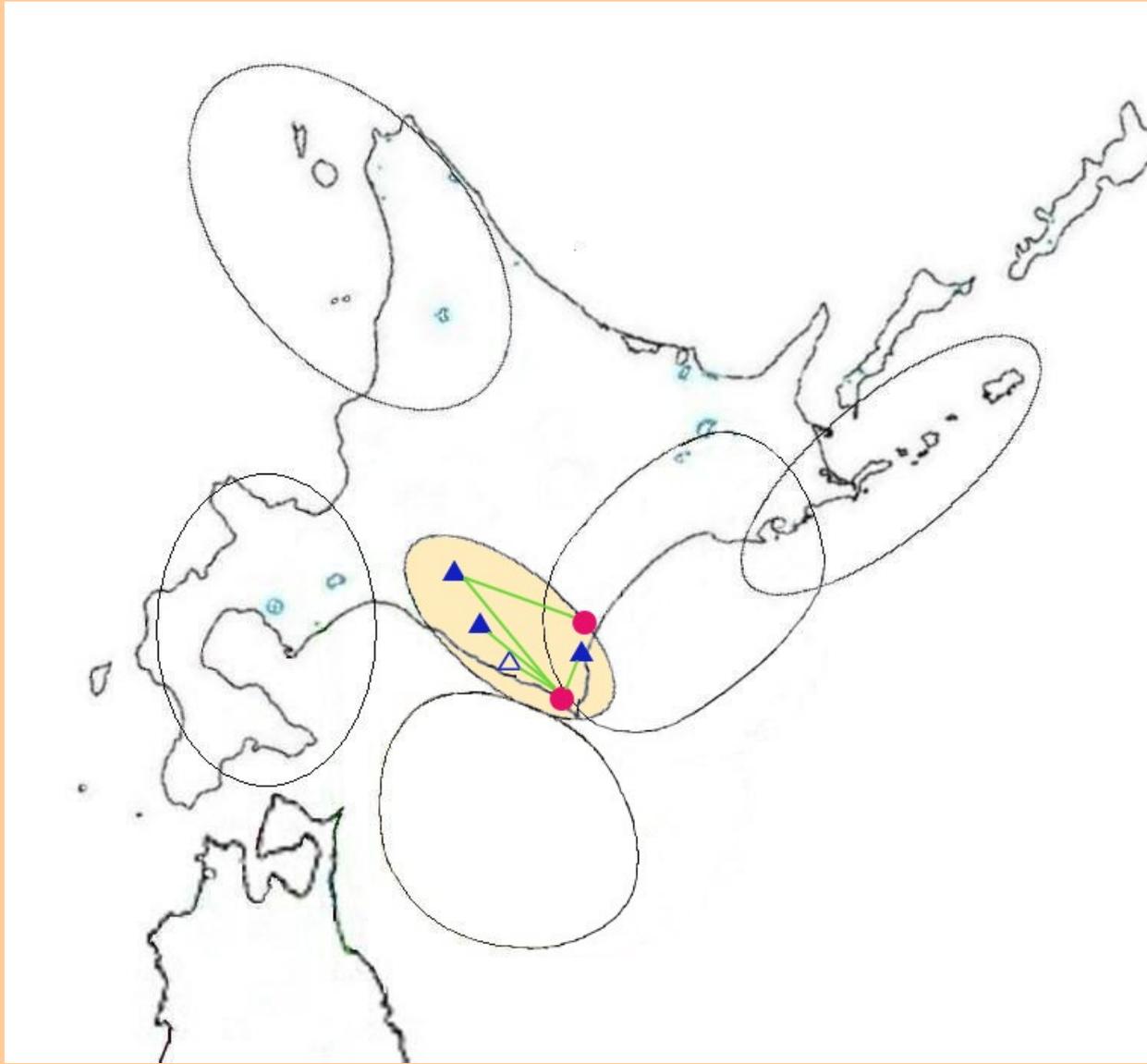
M5:○x+ M4:○x+ M3:○x+ M2:○x+

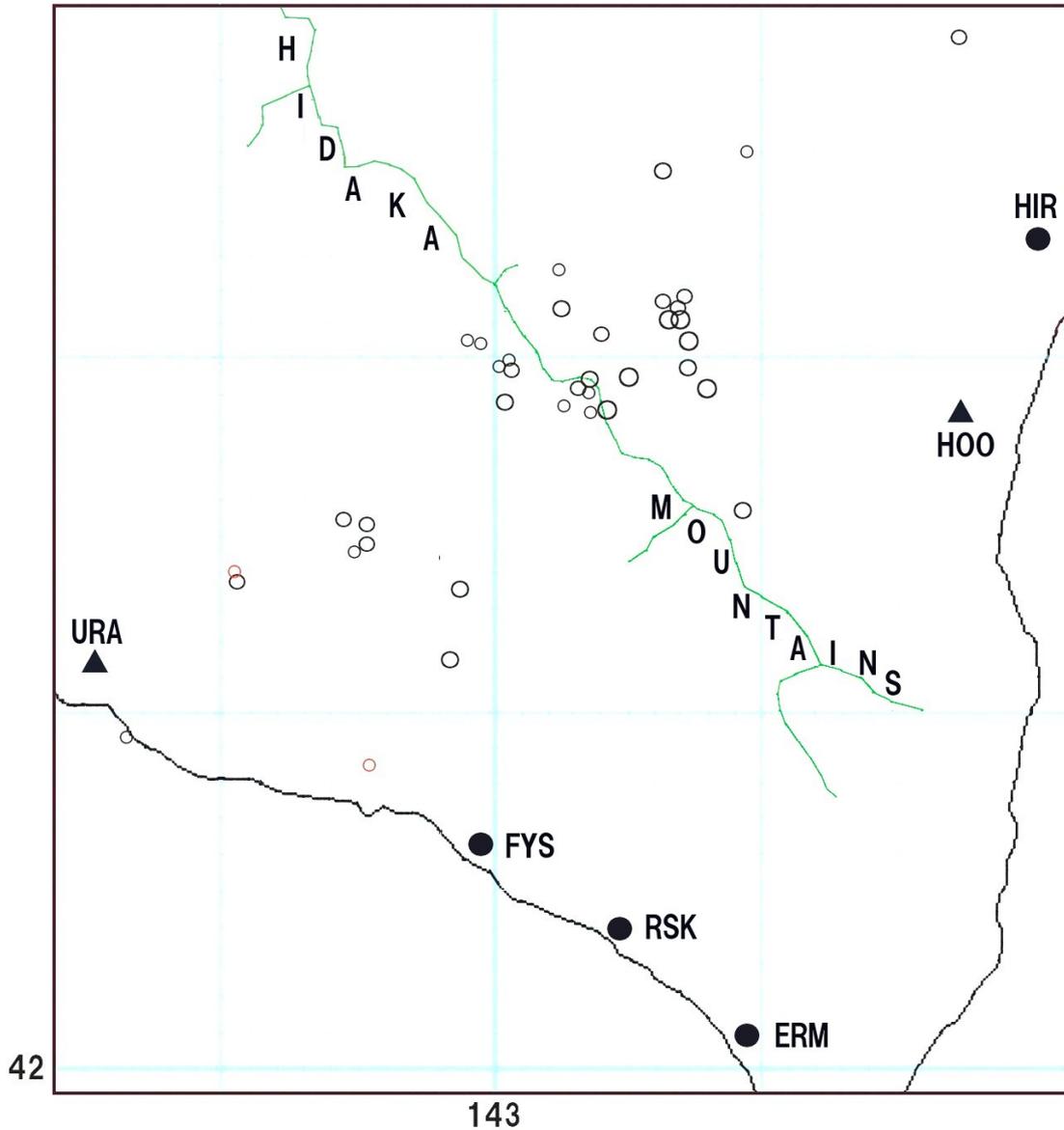
## ERM ~ HOO



1	ASA	-1.9999	~	1.9999	V
2	NKS	-0.99995	~	2.99985	V
3	HOO	-1.9999	~	1.9999	V
4	AKI	-1.9999	~	1.9999	V
5	SZN	-1.9999	~	1.9999	V
6	ASR	-2.99985	~	0.99995	V

日高山脈で起こる地震(M4~5.5)に感応する  
観測点(●)と発信局(▲:FM, △:64Mhz)





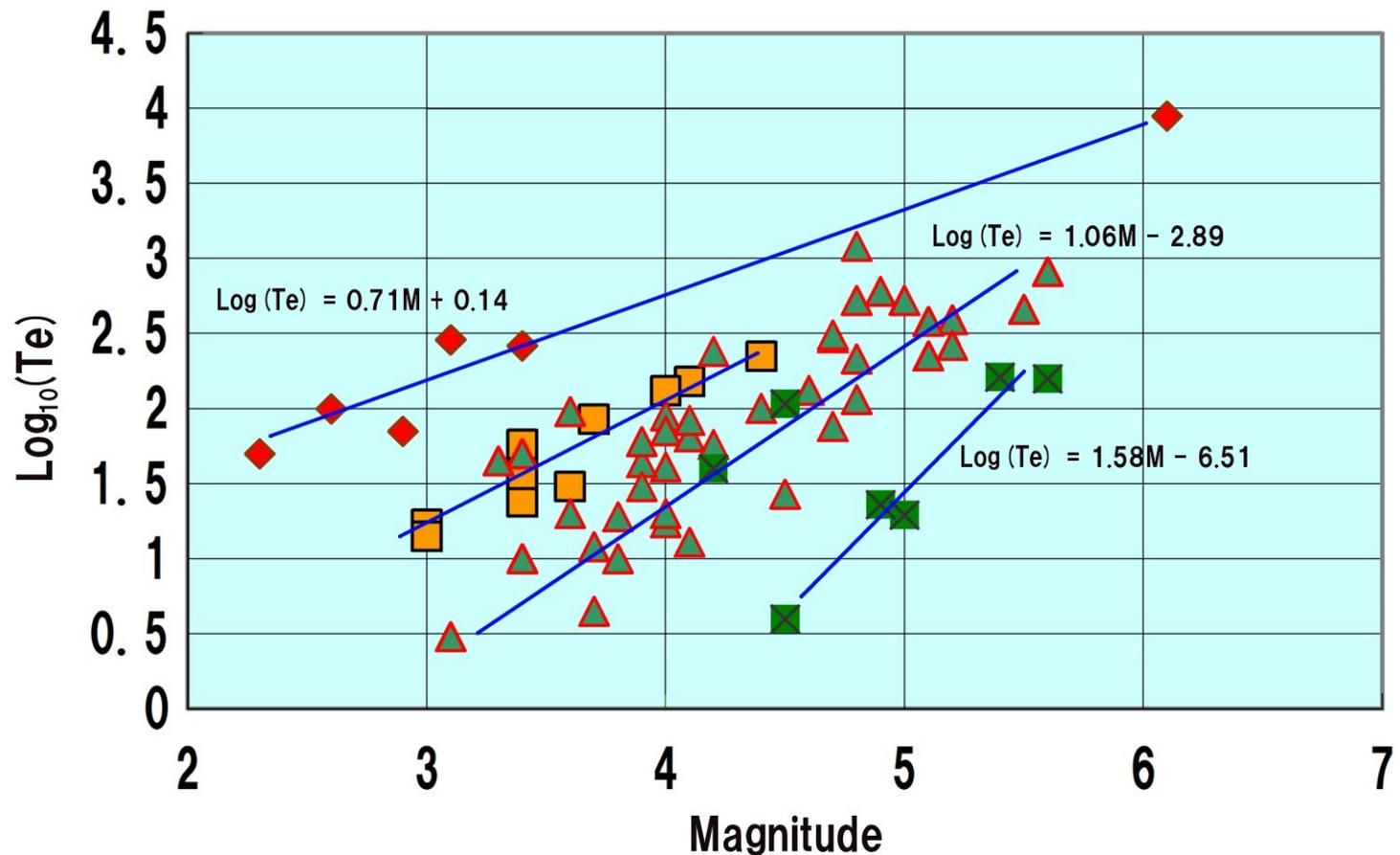
日高山脈南部で起こった地震の震央深さは50km前後

Y	M	D	H	M	H(km)	Mg	I	J	Y	M	D	H	M	H(km)	Mg	I	J	Y	M	D	H	M	H(km)	Mg	I	J
2004	06	11	03	12	48	5.2	3	0	2007	03	06	11	00	07	3.1	3	0	2009	04	12	21	13	51	3.7	1	0
	06	19	14	45	27	4.1	2	0		03	30	05	21	47	4.7	3	0		06	21	21	21	55	3.9	1	0
	07	20	05	58	98	5.0	2	0		04	19	00	07	120	5.5	4	0		08	24	04	46	33	3.4	2	0
	07	29	13	08	50	4.7	2	0		04	27	01	37	58	5.2	4	0		09	08	01	24	51	4.8	4	0
	08	03	03	00	54	3.1	1	0		05	26	08	54	55	3.7	2	0		09	13	09	37	45	3.6	2	0
	09	03	07	01	54	4.1	1	0		06	23	07	20	125	4.9	3	0		11	21	01	55	49	4.0	1	0
	09	10	13	22	51	5.1	3	0		07	12	17	43	32	3.7	2	0	2010	01	15	03	46	51	5.0	4	0
	10	08	04	26	50	5.1	3	0		08	06	10	09	38	3.0	0	0		06	02	02	44	48	3.9	2	0
	10	17	09	11	53	3.8	2	0		08	22	16	26	122	5.4	3	0		08	27	20	32	36	3.4	0	0
	11	27	07	42	51	5.6	4	0		09	10	14	29	63	4.5	2	0		10	14	02	58	53	5.5	4	0
	12	19	06	32	50	4.5	2	X		10	07	12	02	23	3.0	1	0		11	04	05	33	36	4.4	3	0
2005	01	23	08	41	106	4.5	1	0		10	23	16	16	49	3.8	1	0		11	17	09	16	63	4.0	1	0
	02	06	19	40	51	4.0	1	0		12	02	01	28	52	3.4	3	0									
	02	12	11	30	55	4.4	2	0	2008	01	02	01	20	51	4.2	3	0									
	03	08	06	21	55	4.4	2	X		01	15	02	21	48	3.8	1	0									
	07	03	10	58	27	3.1	2	0		01	23	04	34	50	4.9	2	0									
	08	16	08	29	51	4.6	3	0		03	03	23	35	83	4.3	3	0									
	09	24	23	15	52	3.4	1	0		04	28	21	50	50	4.0	1	0									
	10	31	14	13	08	3.4	0	0		07	03	10	00	51	4.0	2	0									
	11	15	92	35	54	4.0	1	0		07	13	03	17	51	4.1	2	0									
2006	02	14	02	00	50	4.2	2	0		07	27	22	09	13	2.9	2	0									
	03	16	15	36	07	2.3	2	0		09	01	14	41	133	4.5	2	0									
	03	25	07	16	51	4.8	3	0		09	02	17	17	84	4.2	2	0									
	08	18	02	50	40	3.6	1	0	2009	01	11	14	57	66	4.7	3	0									
	10	13	08	11	50	3.9	2	0		03	10	10	41	49	4.1	2	0									
	11	01	02	39	50	4.3	3	X		04	05	17	00	54	4.8	3	0									
	11	01	23	21	49	4.8	4	X		04	09	19	26	55	3.9	1	0									

## 日高山脈で地震エコーを観測した地震の表

ERMで観測されたHOOからの散乱波についてのLog (Te) とMのプロット. 深さ(数字)ごとに一次式で表される.

Mの係数は深さの関数になっている



## 三つの式から次の式が得られる

$$\text{Log} (T_e) \doteq (0.0098h+0.6)M - (0.16h+1.7)$$

ちなみに

$$\text{Log} S = 1.02 M - 4.0 \quad (\text{宇津・関の式, 1955})$$

S: 余震面積(km<sup>2</sup>)  $\doteq$  本震の破壊域

$$\text{Log} S = 0.72M - 5.8 \quad (\text{竹村 1998})$$

S: 断層の面積 = 本震の破壊域

したがって, “Teは単位面積あたりの破壊時間”である.

また 
$$\text{Log} (\mu DS) = 1.32M + 9.9$$

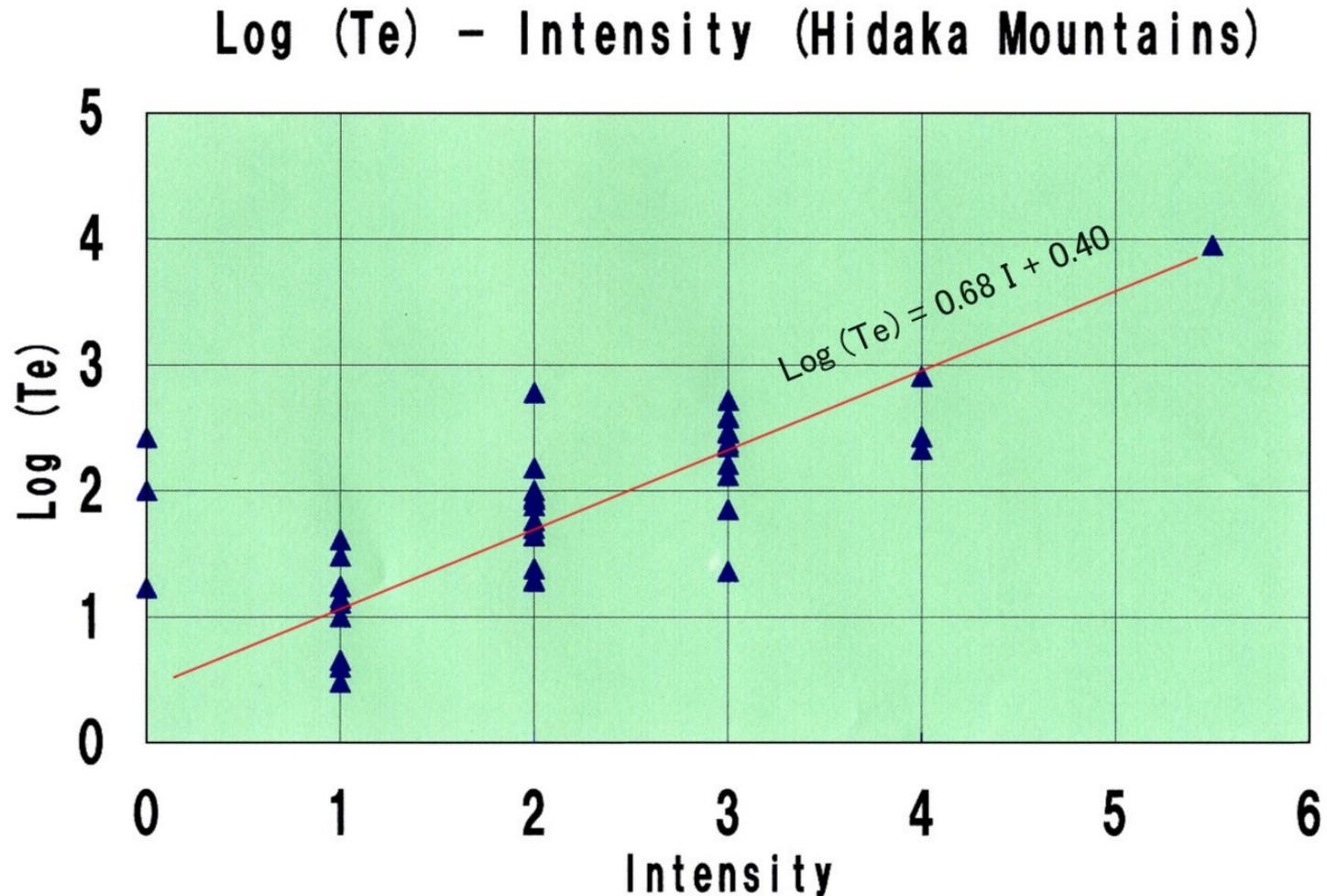
D: 変位量(m),  $\mu$ : 剛性率 ( $M_0 = \mu DS$ , 地震モーメント)

したがって“Teは震源に力が加わっている時間”でもある.

Te (総継続時間) だけからMを予想することはできない.

しかし,

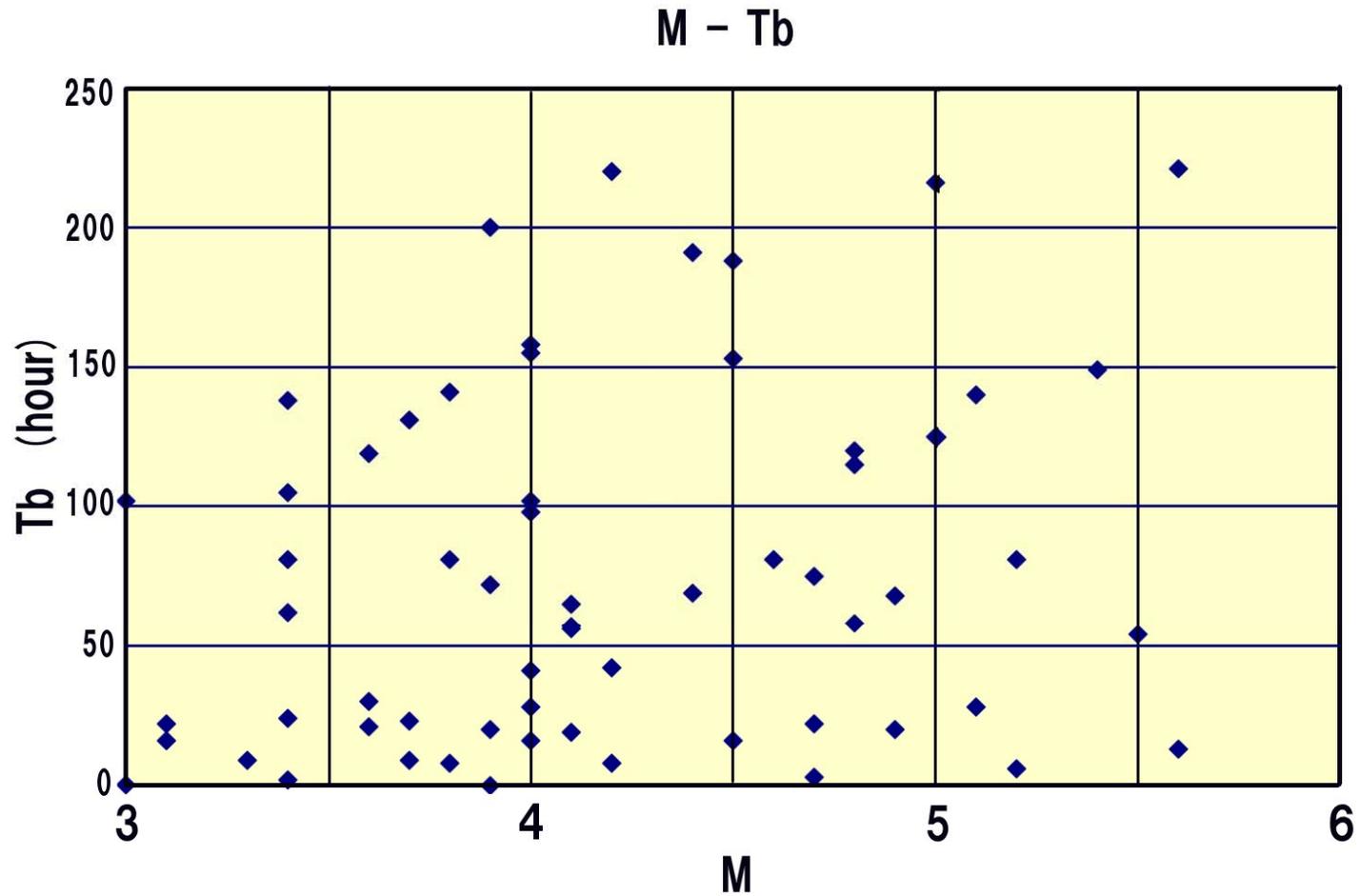
Log (Te)と最大震度のプロットは簡単な関係を示している。  
ばらつきは震度計の設置場所がまばらなためもあるらしい。

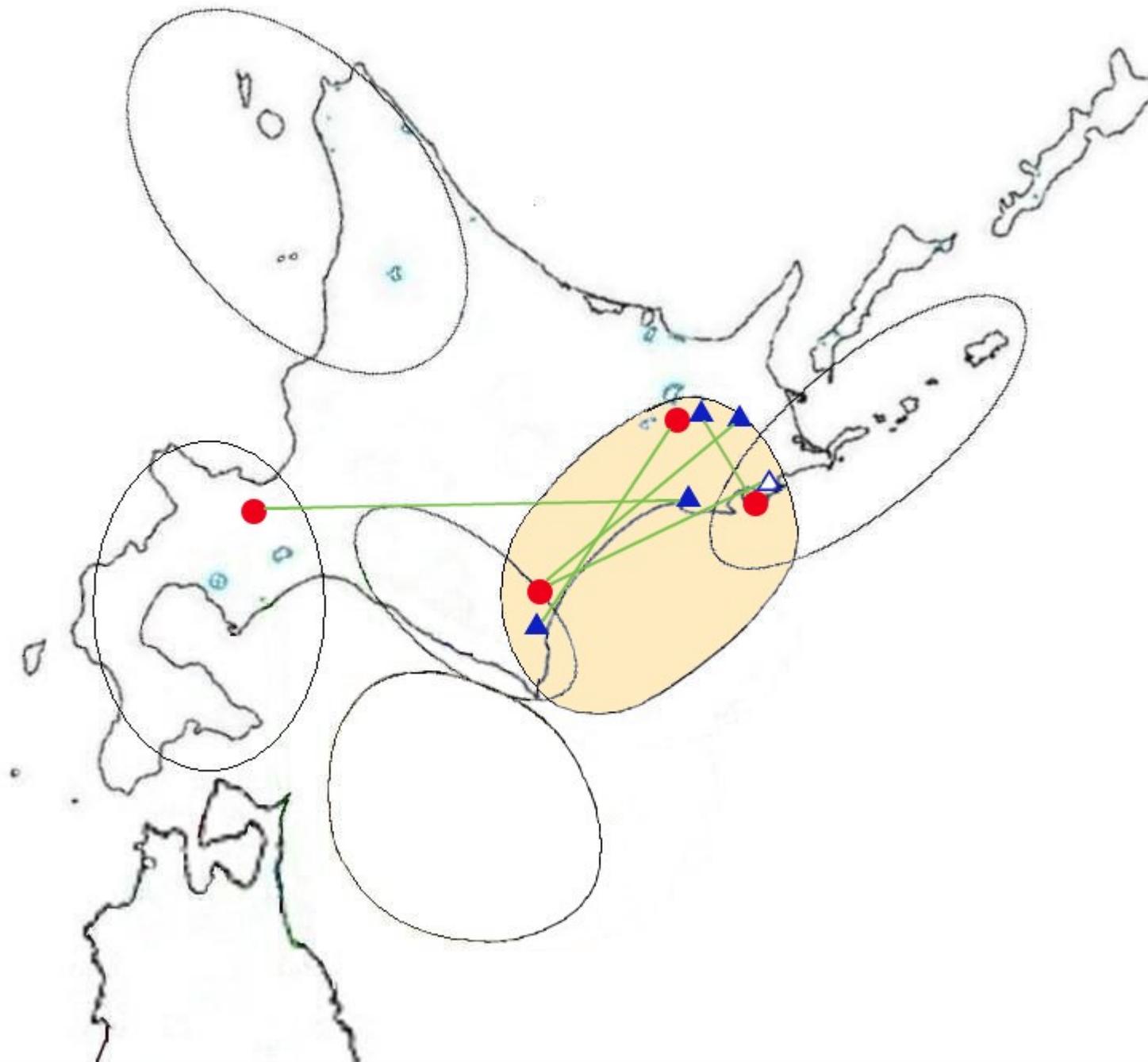


日高山脈には震度計が無い。

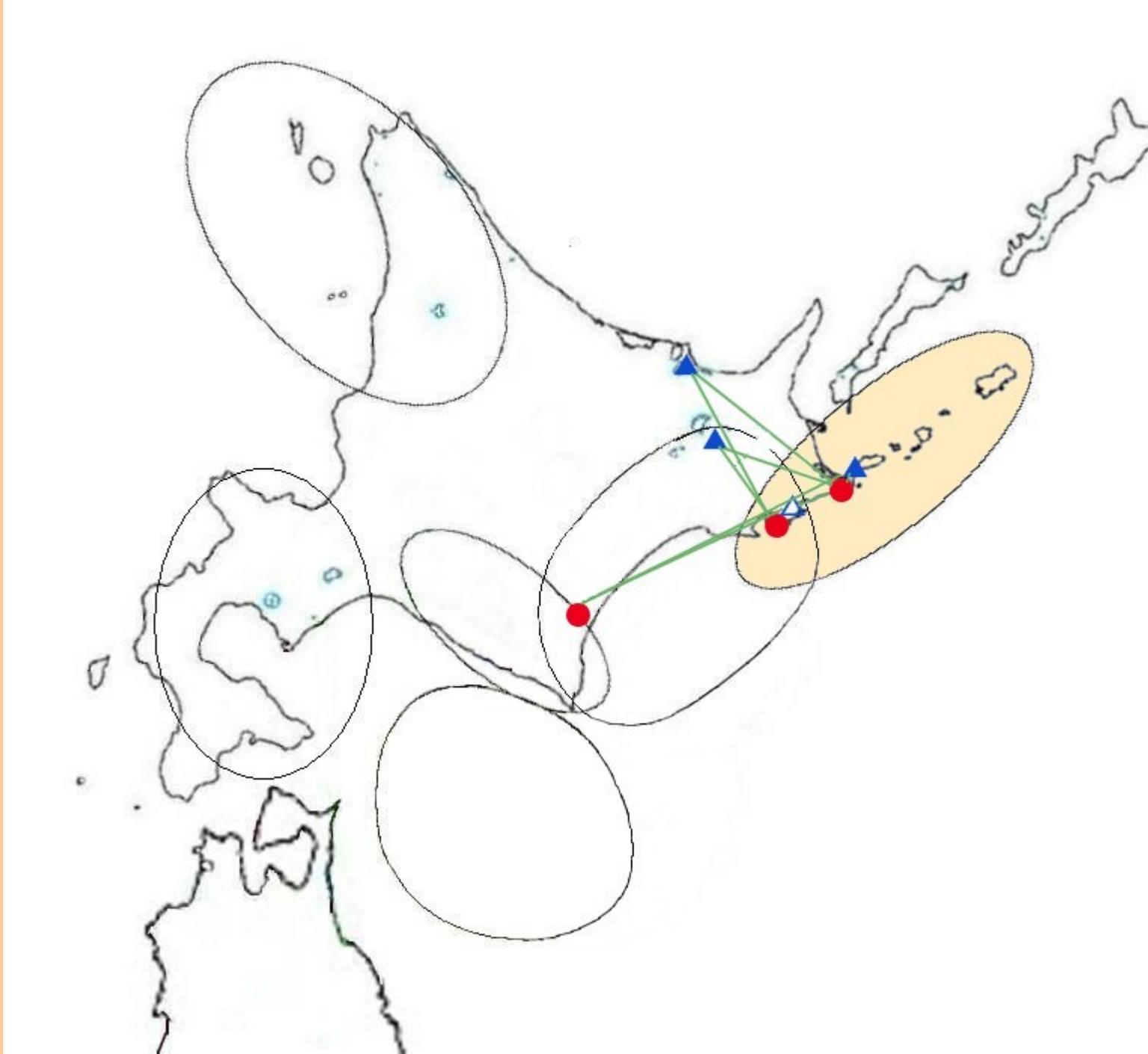


# 静穏期 (Tb), 活動期 (Ta)

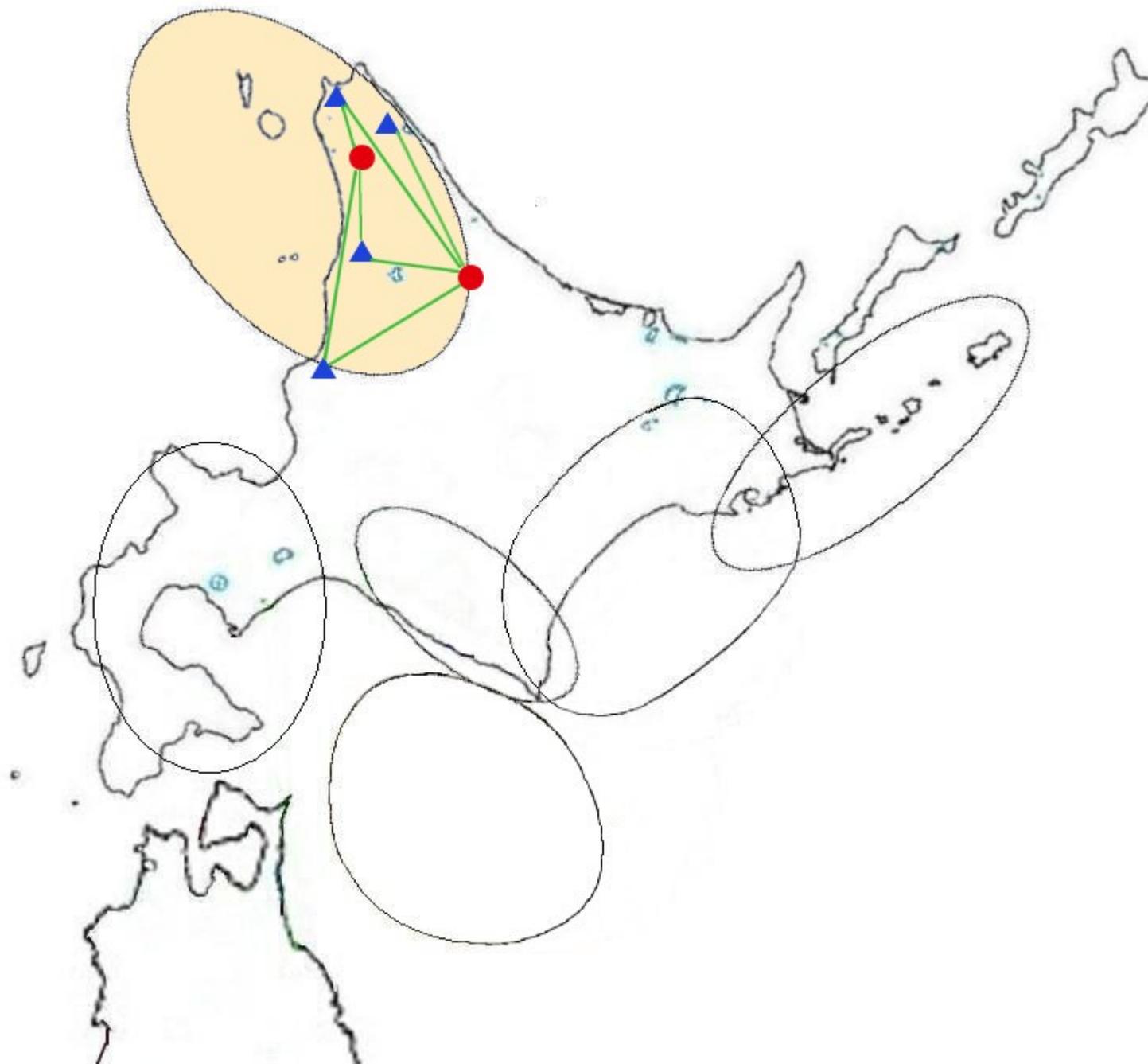




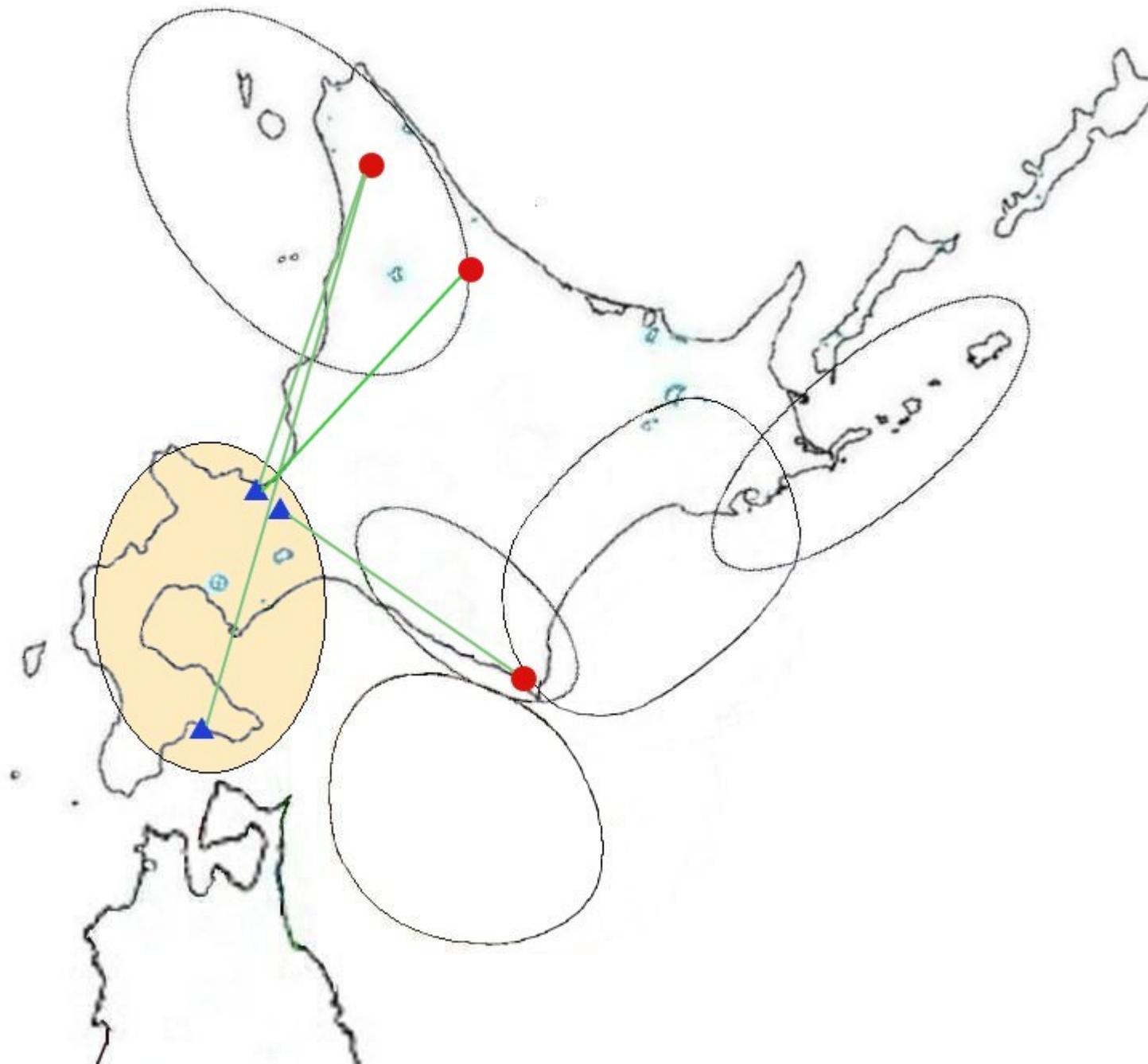
十勝,  
十勝沖



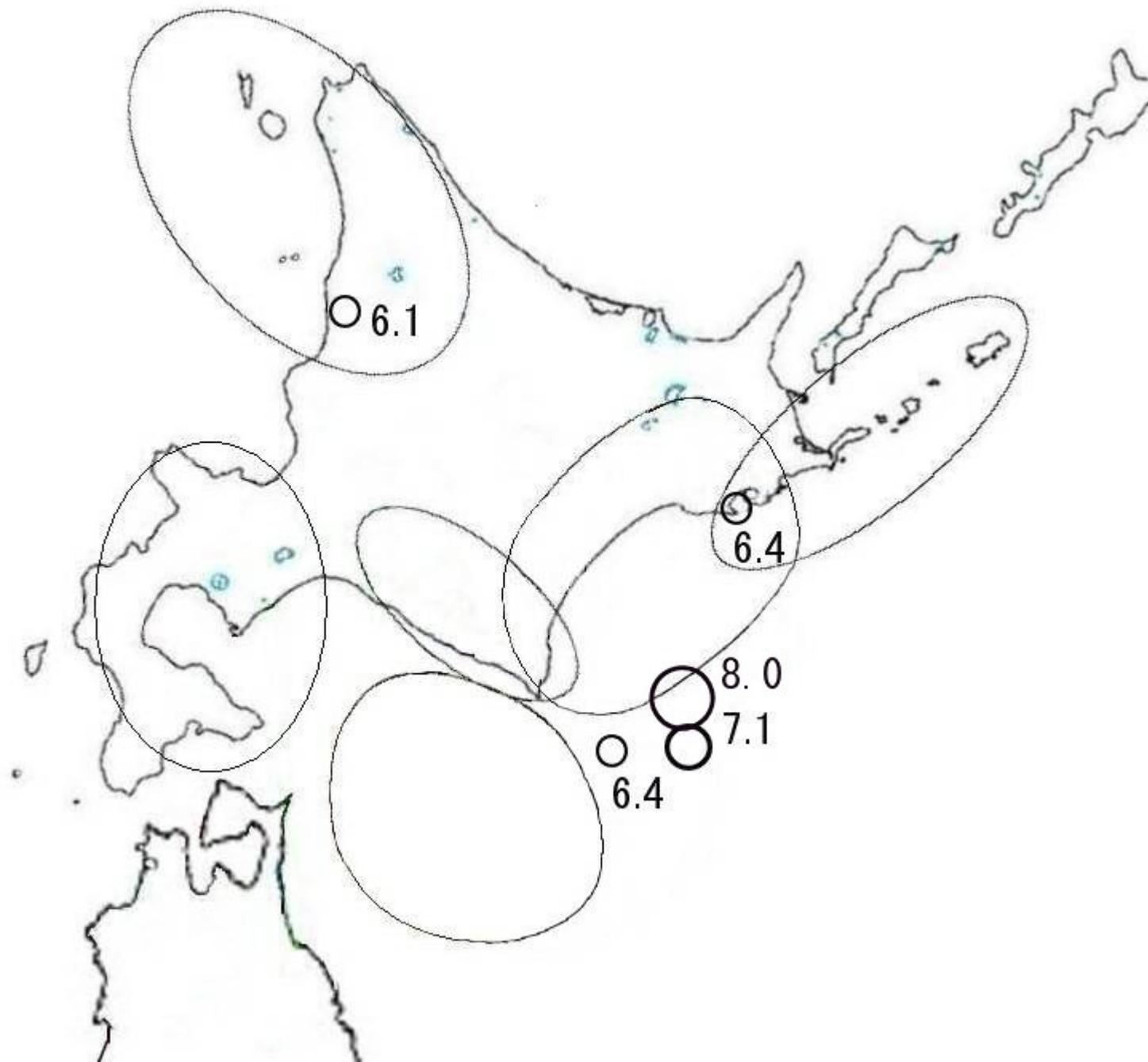
根室～  
色丹島



道北部,  
北西沖  
(数例の  
み)



南西部  
(数例のみ)



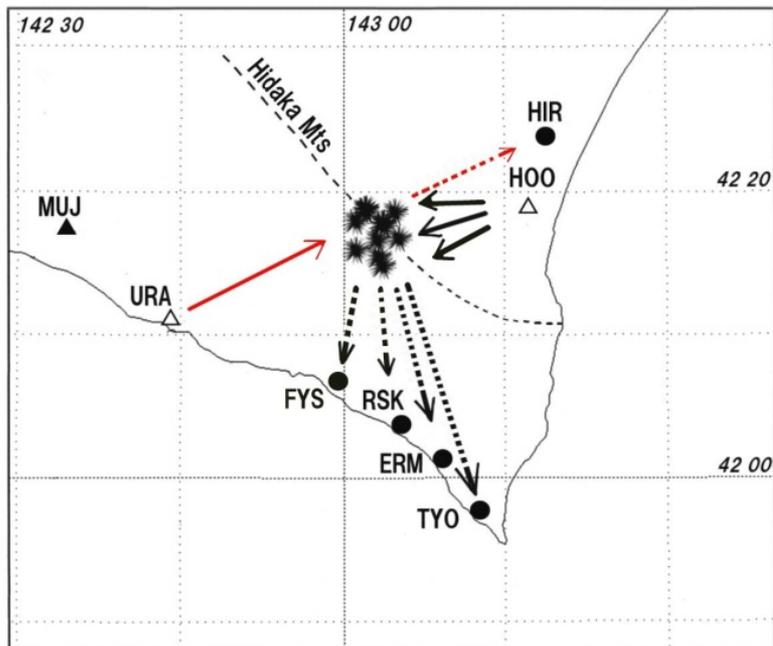
M>6  
広域的  
になる

# 地震エコーの物理的特性

偏波特性, 同時性, 到来方向

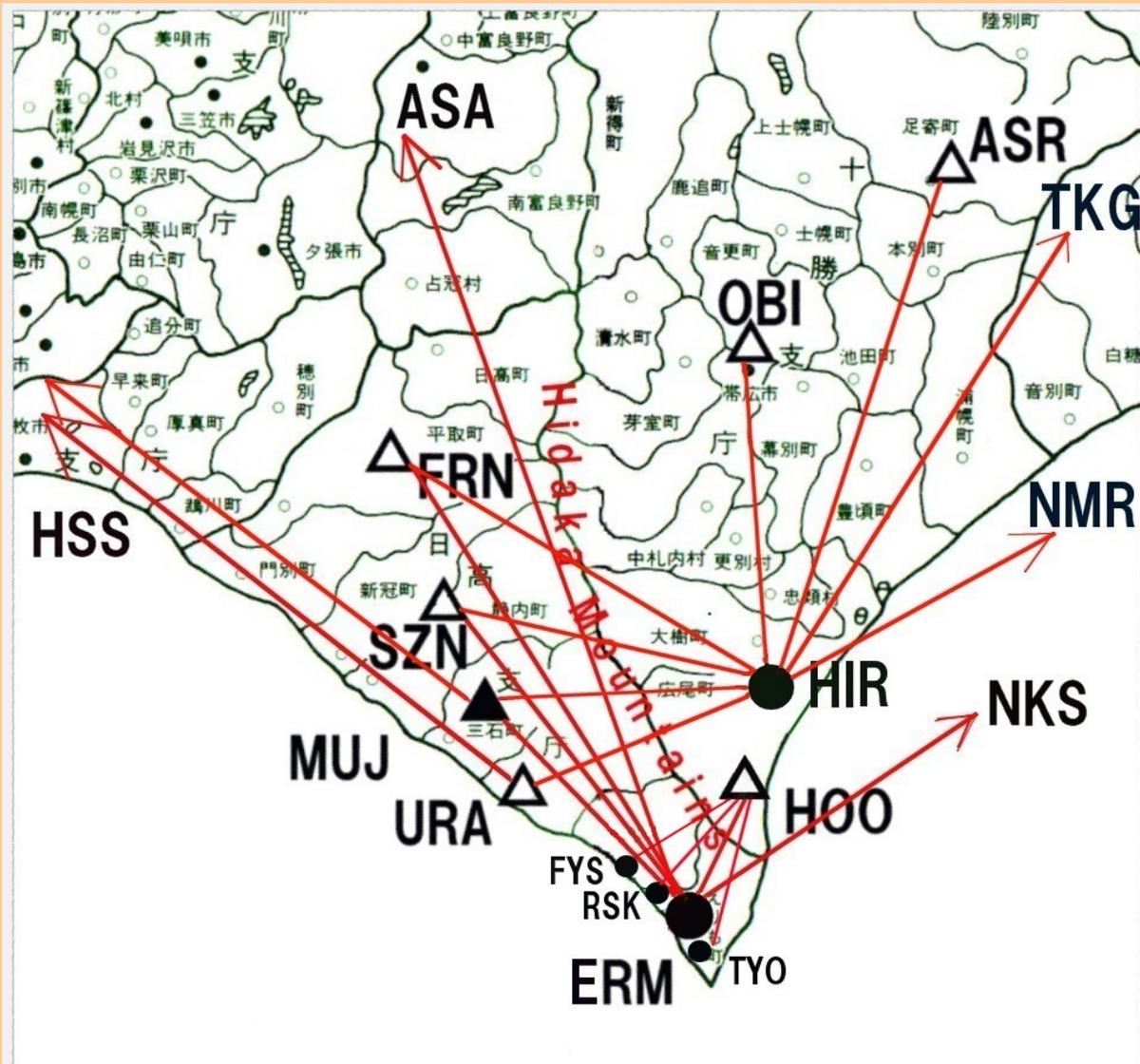
FM送信方式には水平偏波と垂直偏波がある。  
ほとんどの局が水平だが、垂直は広尾，弟子屈，中標津など。

散乱波は偏頗面が回転しているので受信は水平で行っている。  
日高山脈地震のM4以上では，散乱波が必ず観測されるが水平偏波成分  
が大きい。



様似町留崎(RSK)の観測

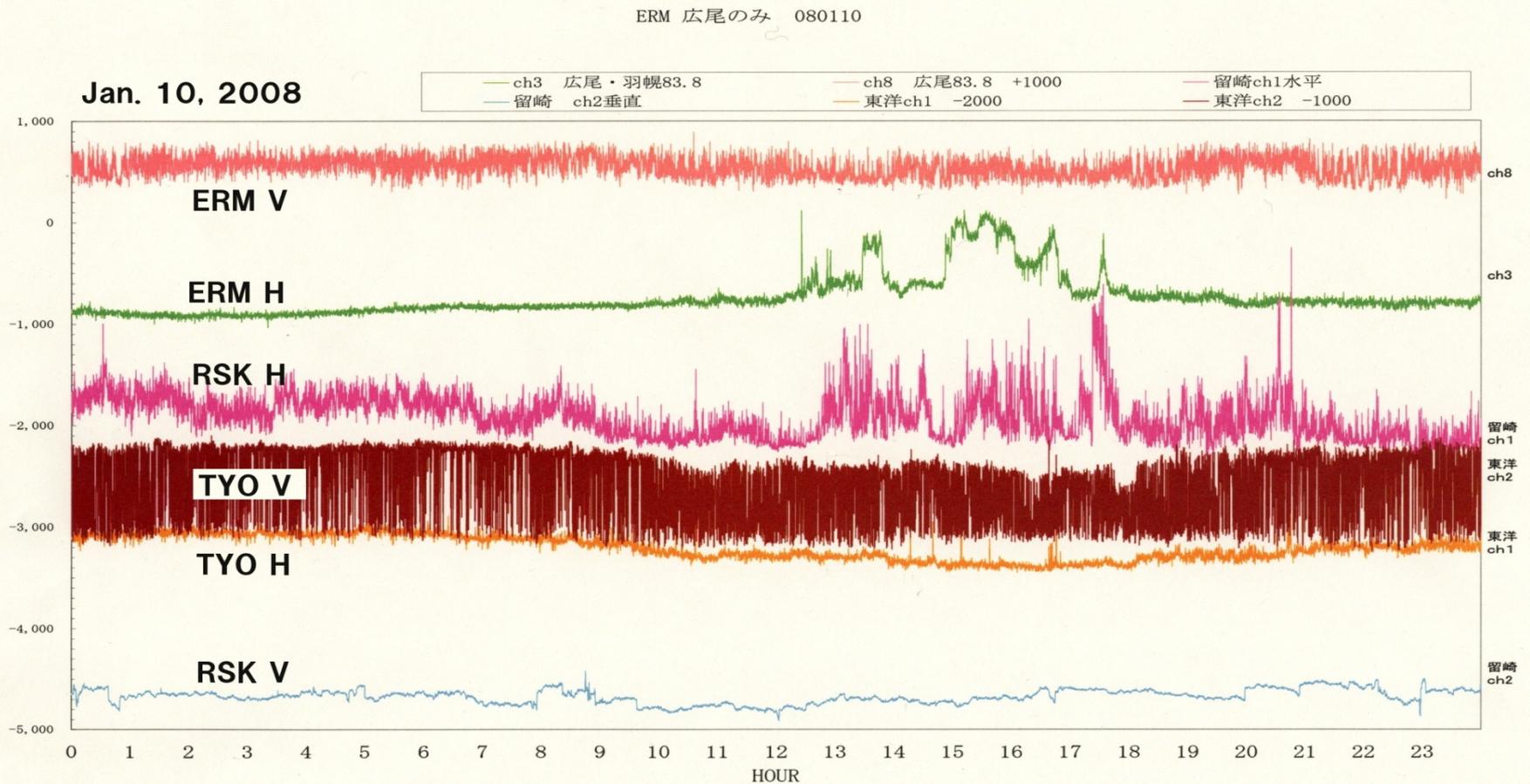
エリモ付近の詳細. HOOだけを対象とした観測点を3ヶ所設置.  
同時性, 偏波特性, 強度変化などを測定する.



# エリモ町東洋(TYO)の観測点

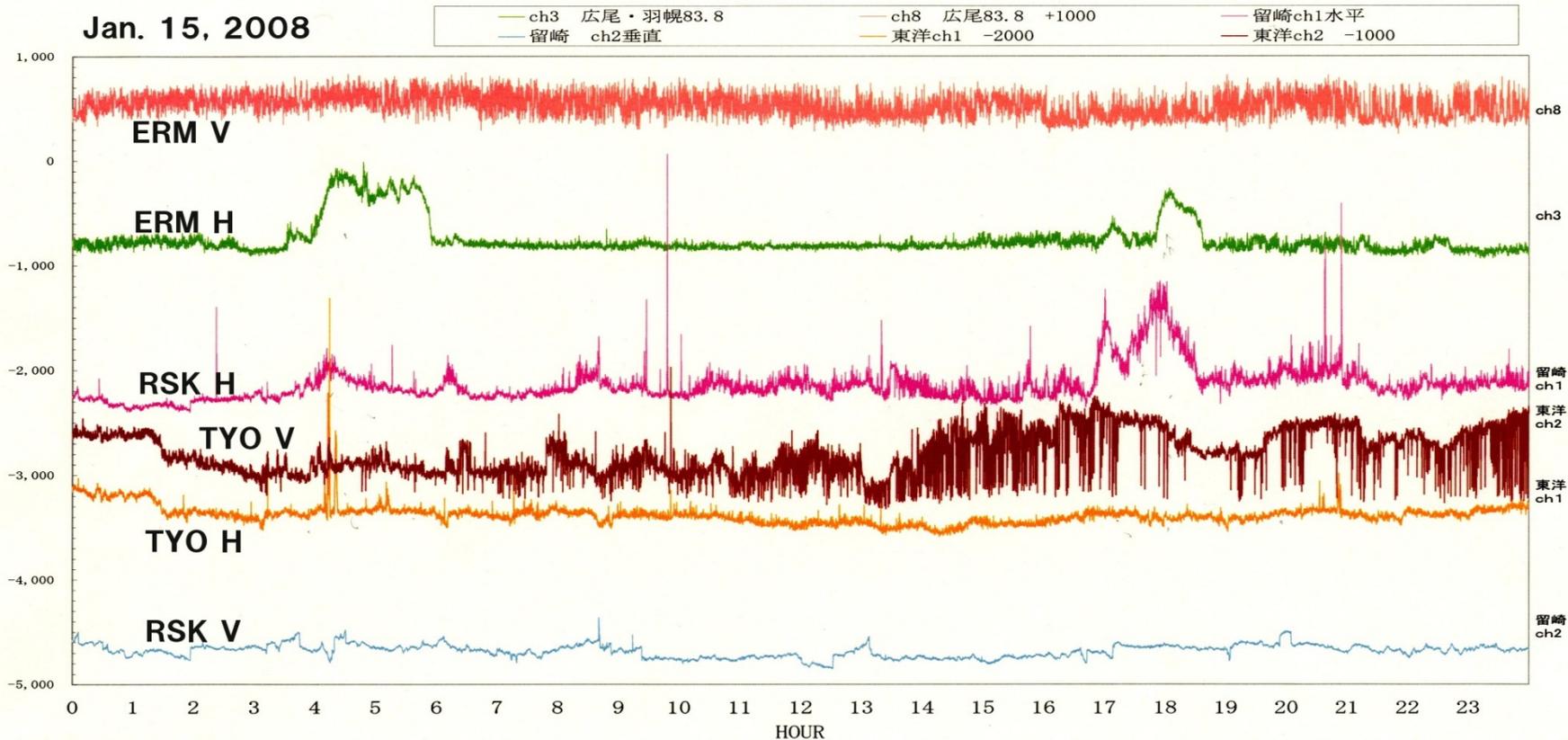


1月23日日高山脈南部M4.6の前13日に観測された散乱波では、広尾(垂直偏波発信)からの散乱波はエリモと留崎の水平アンテナに観測されたが垂直アンテナには観測されなかった。



1月23日日高山脈南部M4.6の前8日に観測された散乱波では、  
広尾(垂直偏波発信)からの散乱波はエリモと留先の水平アン  
テナに観測されたが垂直アンテナには観測されなかった。

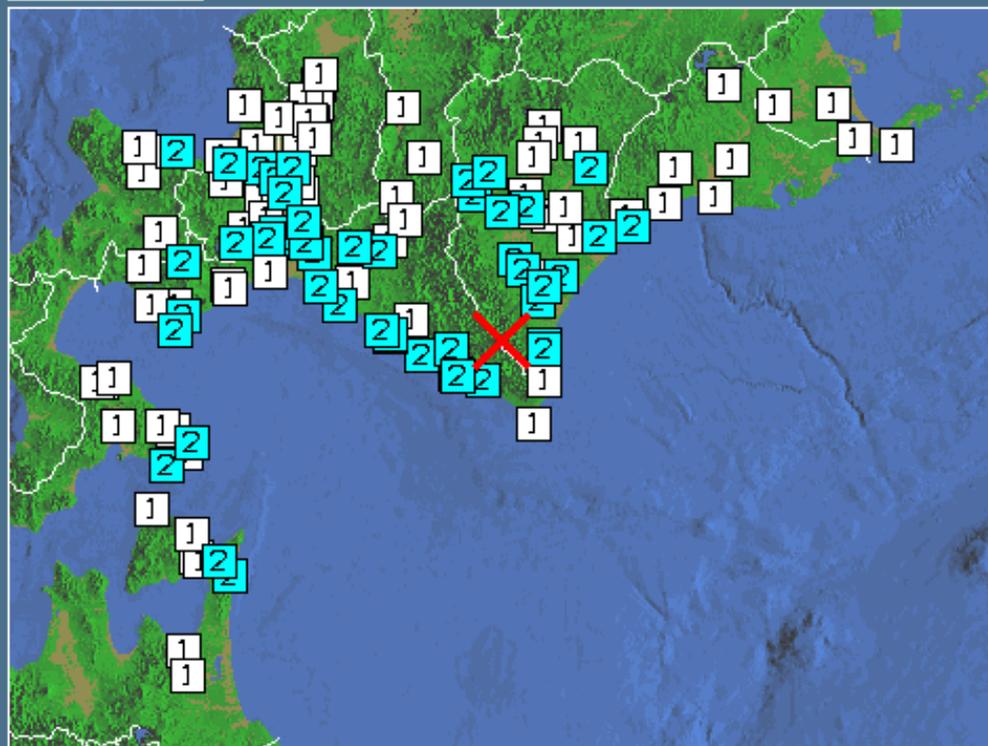
ERM 広尾のみ 080115



2008年01月23日04時34分 日高支庁東部

100km

N= 125



北緯42度19分 東経143度04分 深さ 50km M:4.9

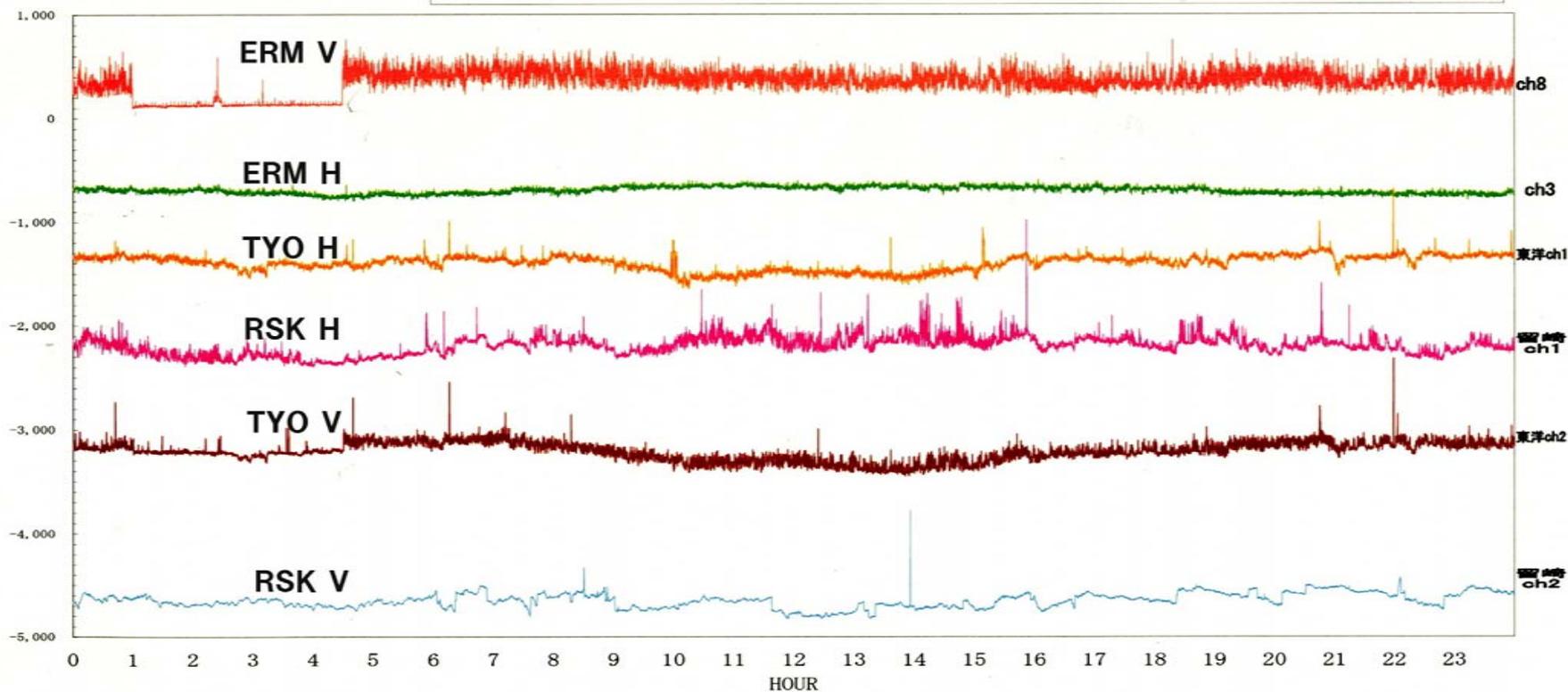
1月23日にM  
4.9, 最大震度Ⅱ  
が発生した.

保守のために放送波が停止する時, 広尾からの直接波はエリモと東洋の垂直アンテナには到達していることが分かる. しかし水平アンテナには到達していない.

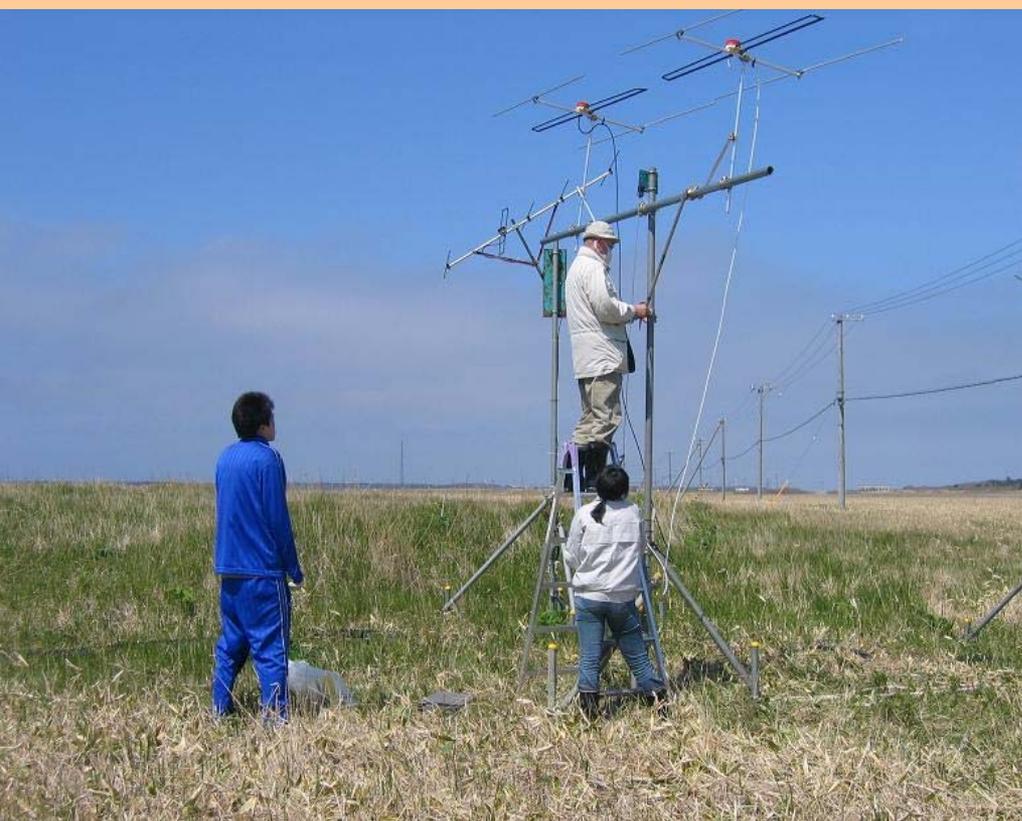
ERM-071210 広尾のみ

Dec. 10, 2007

ch3 広尾・羽幌83.8 ch8 広尾83.8 +1000 留崎ch1水平 留崎 ch2垂直 東洋ch1 東洋ch2 -1000



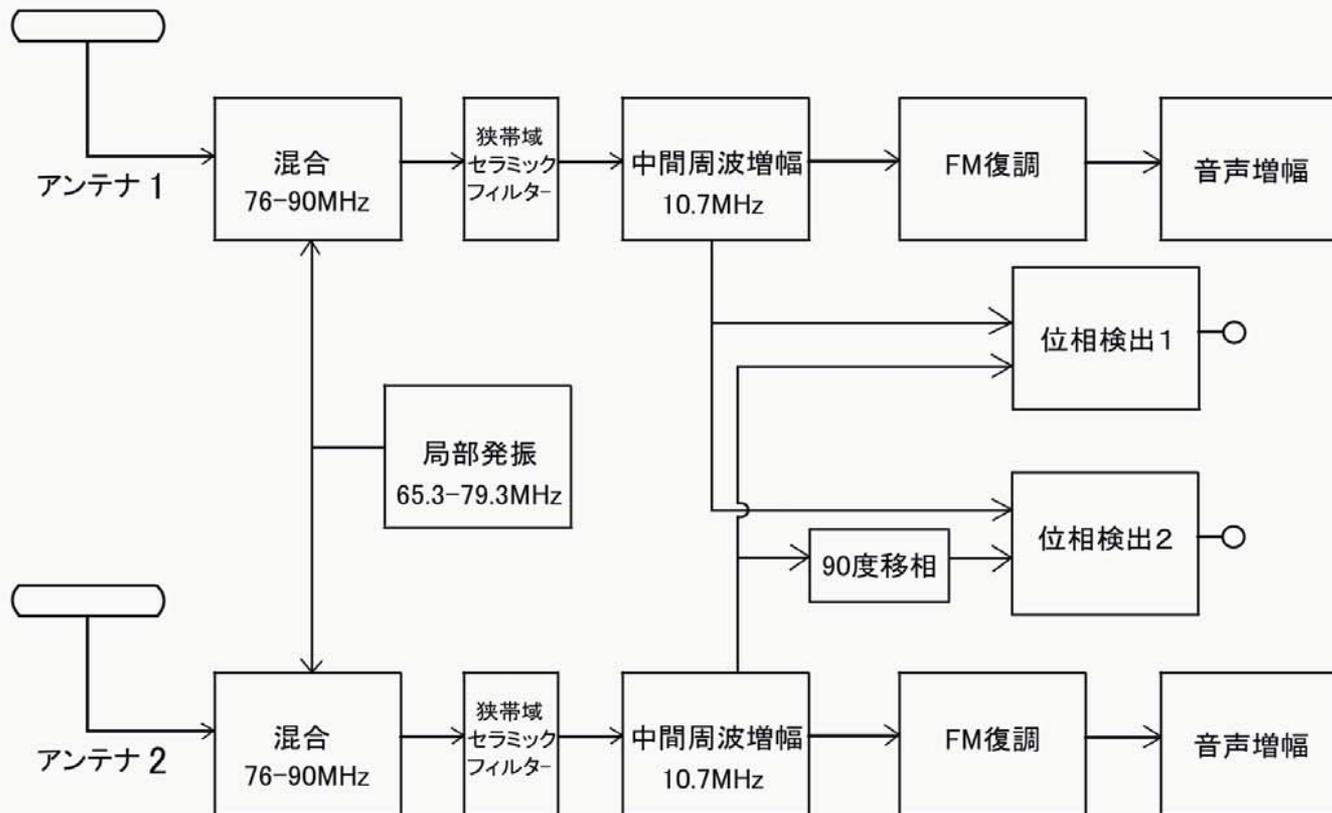
# 散乱波の到来方向を干渉計で測定する



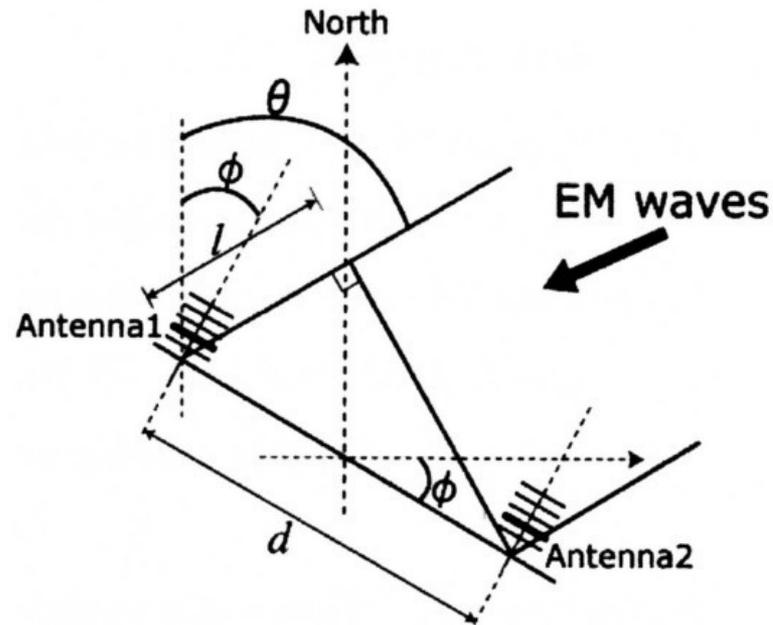
根室市落石観測点 ↑ 弟子屈観測点→

# 2台の受信機で位相を測定する干渉計

干渉計は岡山理科大学山本教授の設計



入射角 $\theta$ を北から時計回りに測ると

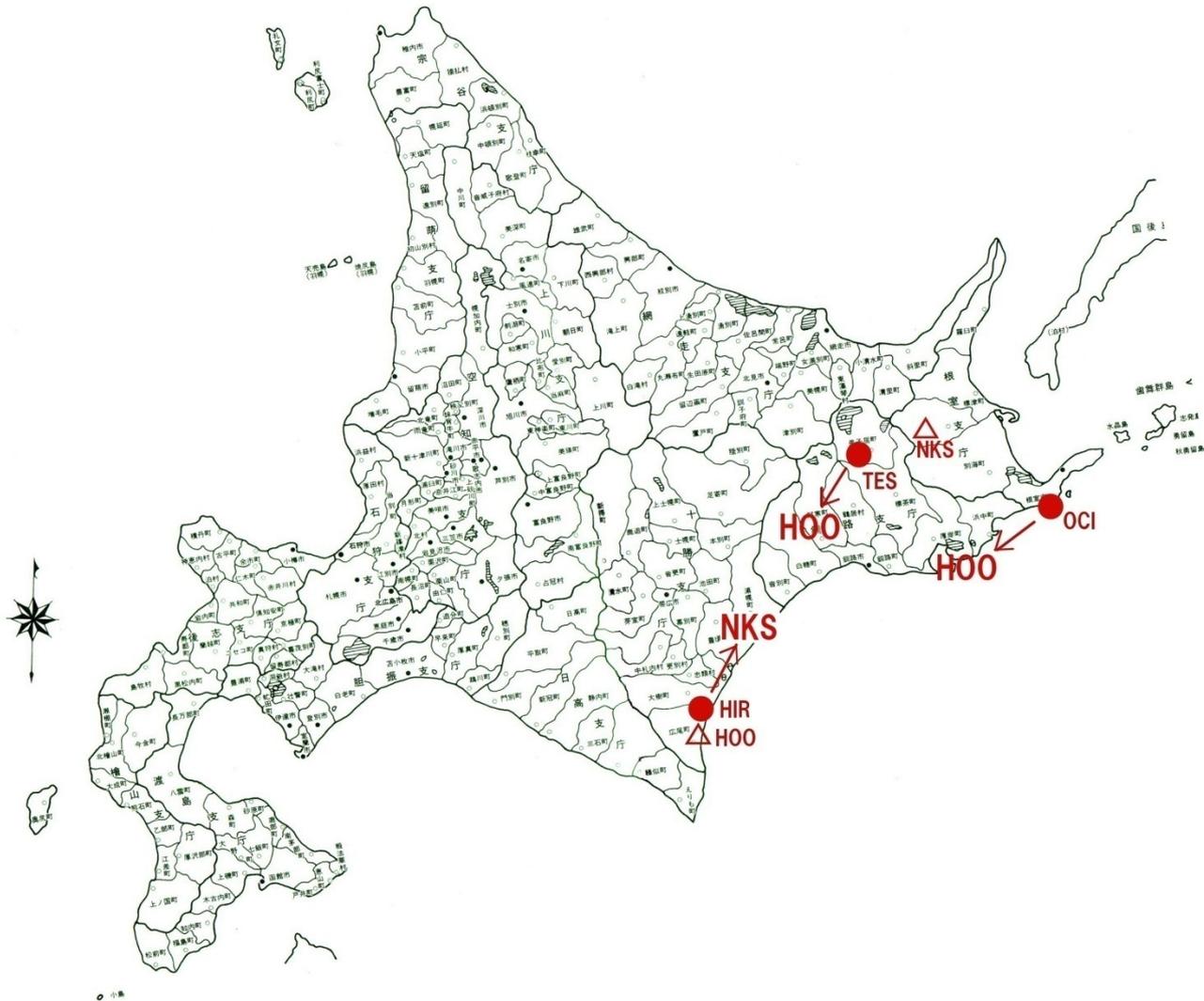


$$l = d \sin(\theta - \phi) \quad (1)$$

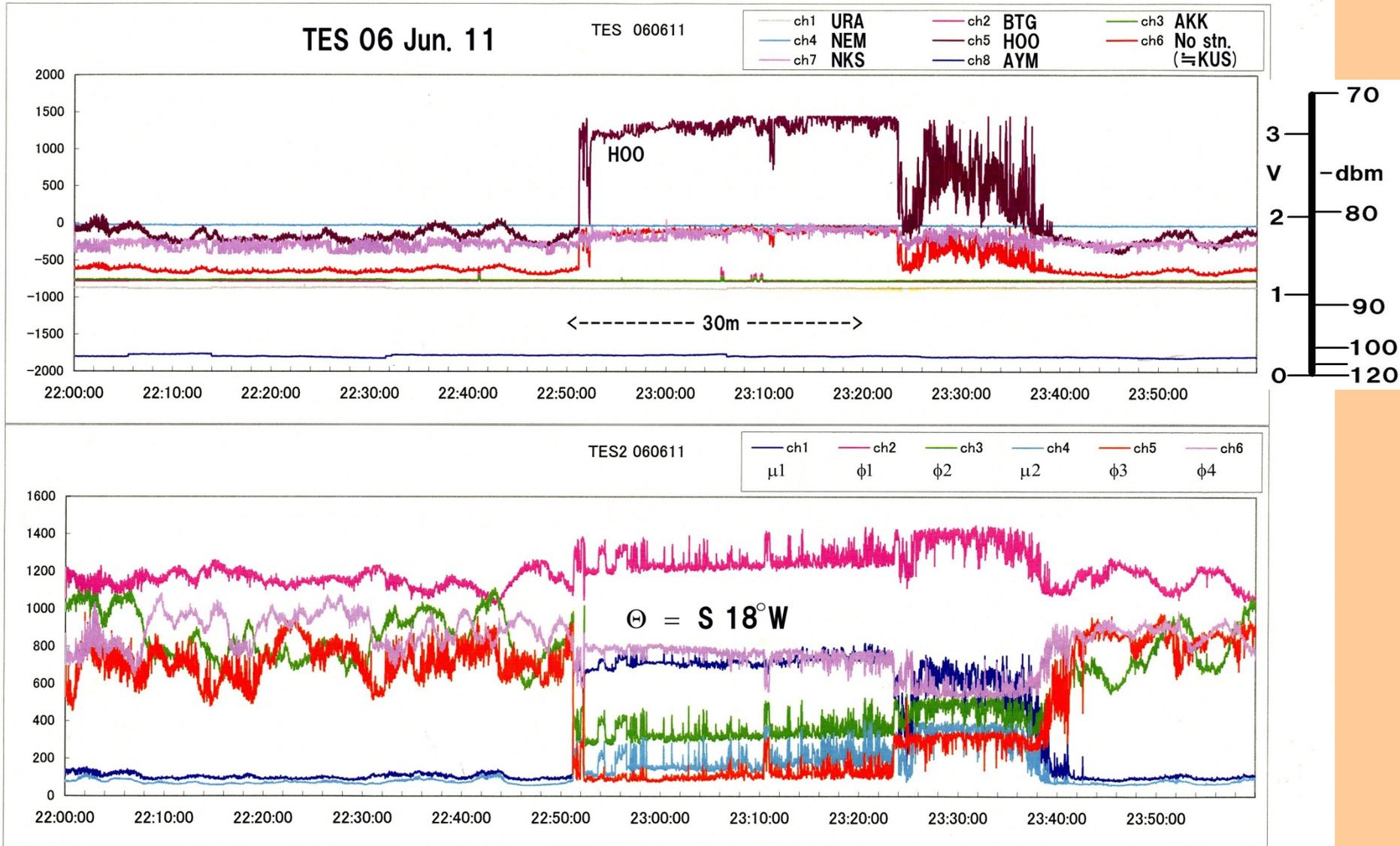
$$\delta = \frac{2\pi l}{\lambda} \quad (2)$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\delta}{2\pi}\right) + \phi \quad (3)$$

# 方位観測点と監視方向

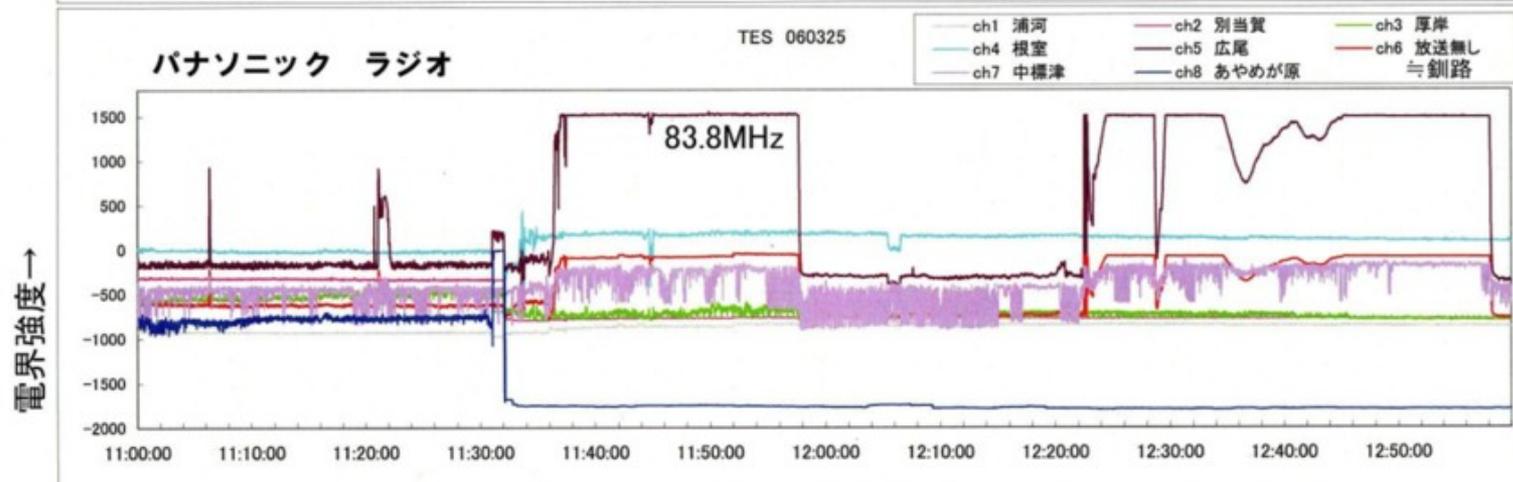
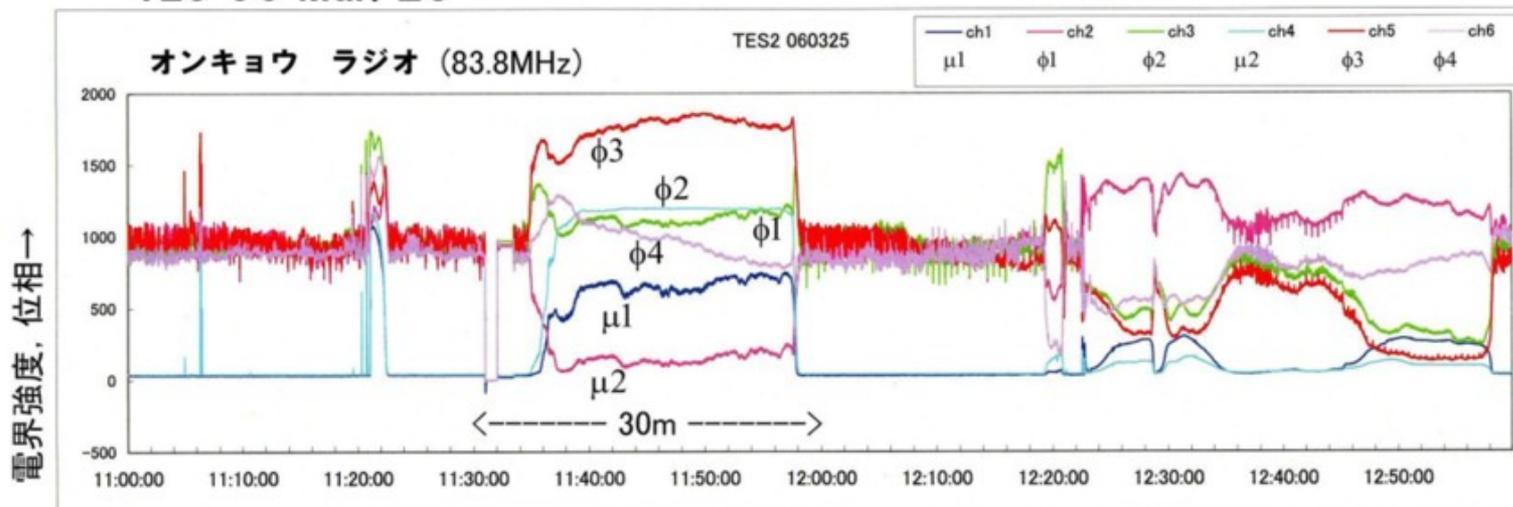


# 弟子屈～広尾局で観測されたFM電波伝播異常の電界強度変化と方位計の位相記録. 弟子屈から見て南南西(ほぼ震央の方向)になる.

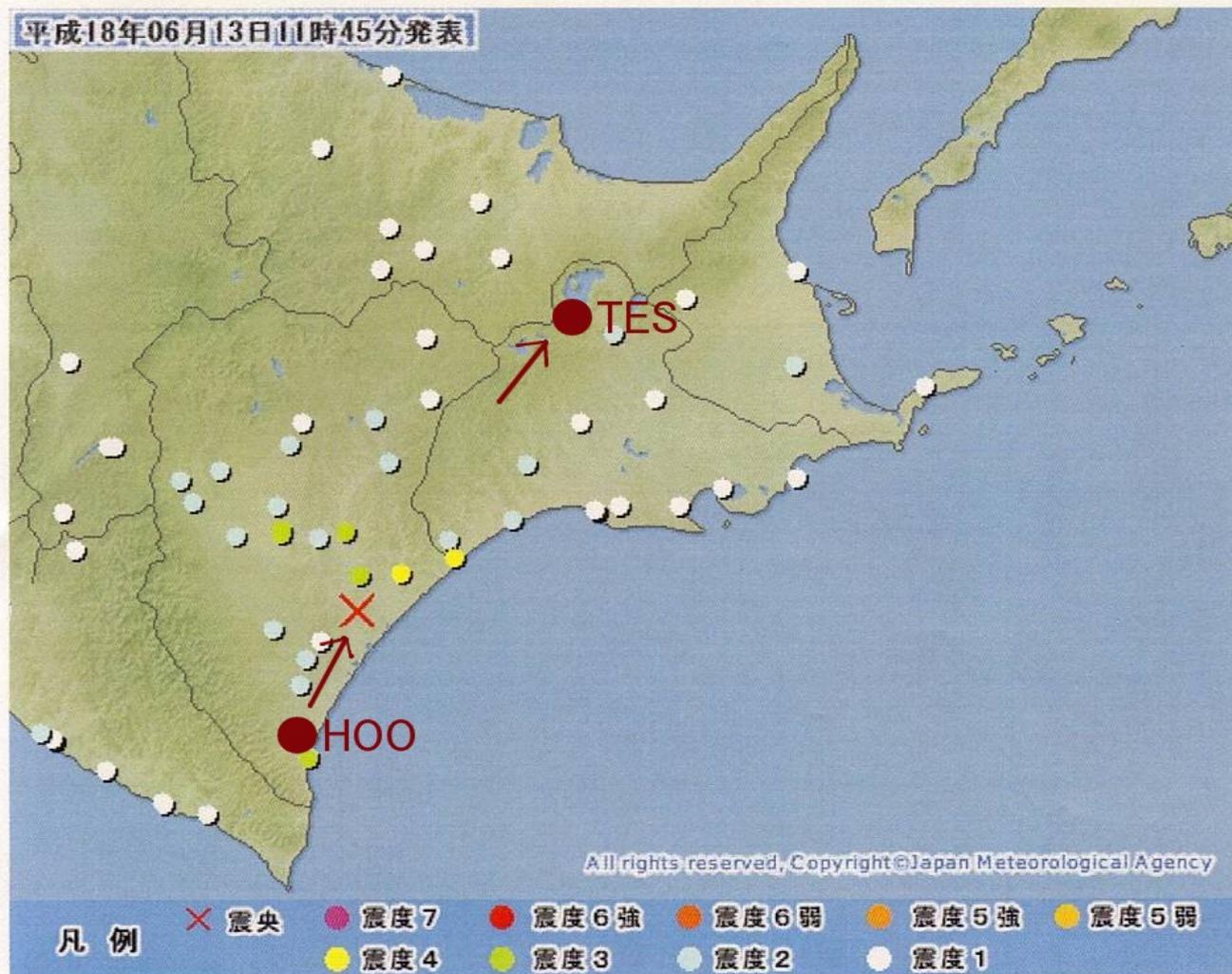


# 小型発信器からの信号を受信して方位キャリブレーションを行った記録

TES 06 Mar. 25



# 2006年6月13日に発生した十勝の地震 M4.7 深さ86km 最大震度IV



## 2006年6月13日の十勝の地震(M4.7)

弟子屈観測点～広尾局, (+釧路局80.7の側波80.0?)

総散乱波継続時間: 170分       $\text{Log}_{10}(170) = 2.23$

活動日数: 2日

静穏期: 0日 (15時間)

予想最大震度: III - IV

予想震央: 十勝支庁, 同沿岸, 十勝沖

弟子屈からの方位: S18W

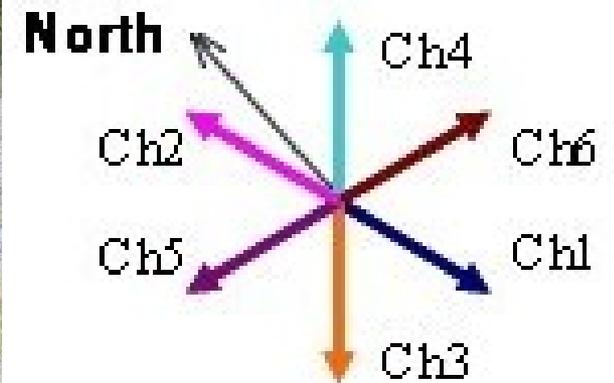
---

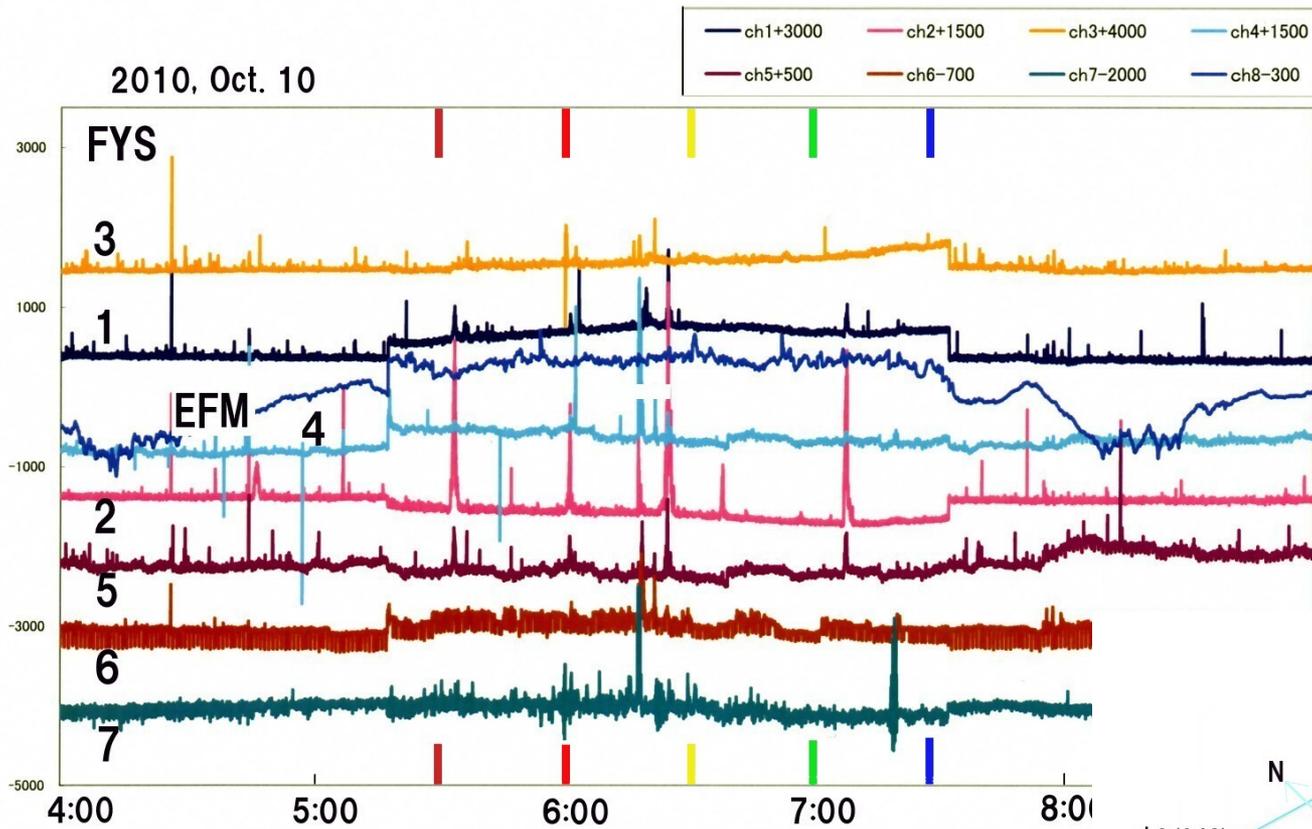
実際の地震は:

十勝沿岸, M4.7深さ86km, 最大震度: 4(2ヶ所)

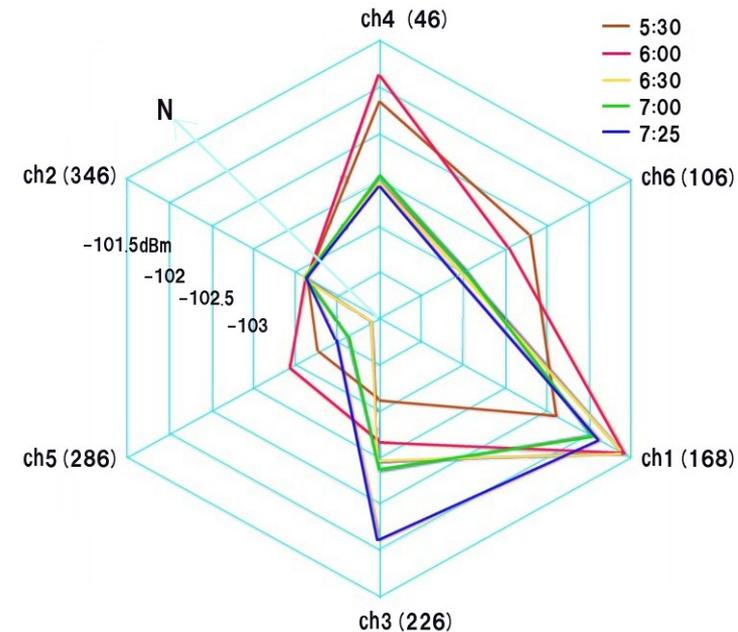
方位: S35W

# アンテナを放射状に配置する観測 日高山脈南部冬島観測点 2010年からの試み





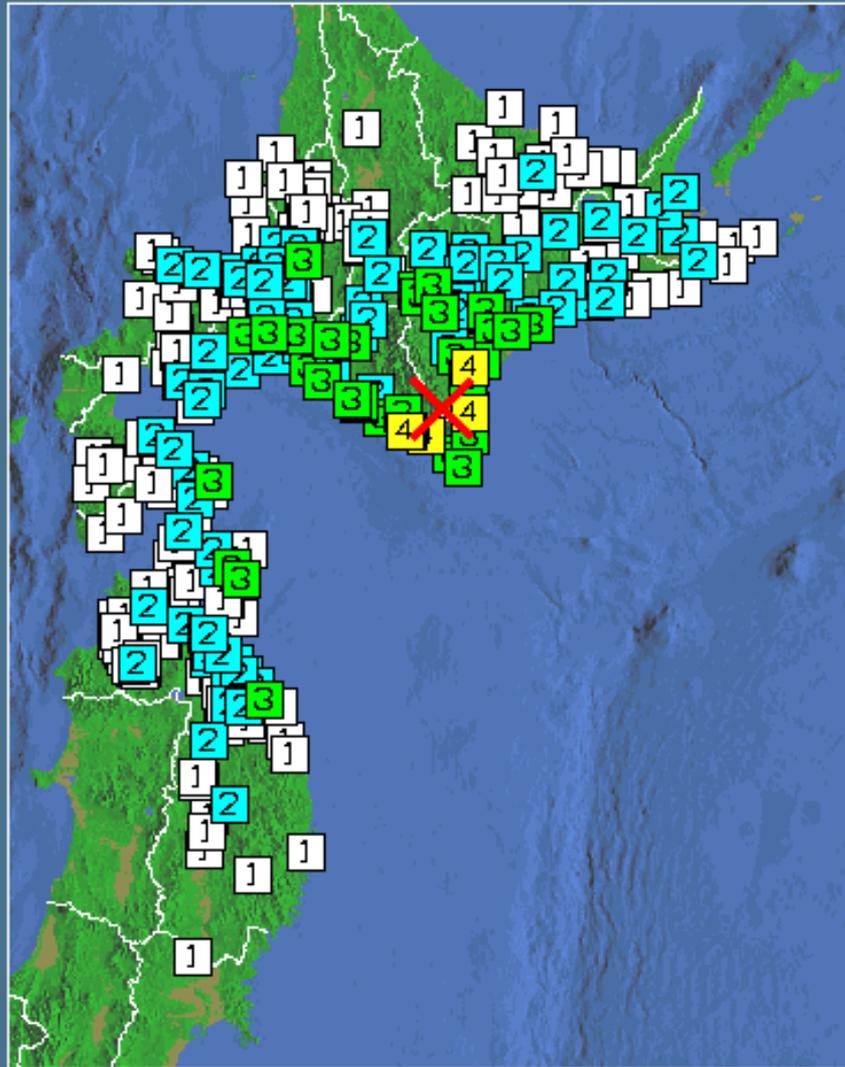
冬島で観測された地震エコーは時間と共に変化していた。散乱体が北→北東→南東へと移動していったことが考えられる。大気電場は+へ変化した。



2010年10月14日22時58分 日高地方東部

100km

N= 276

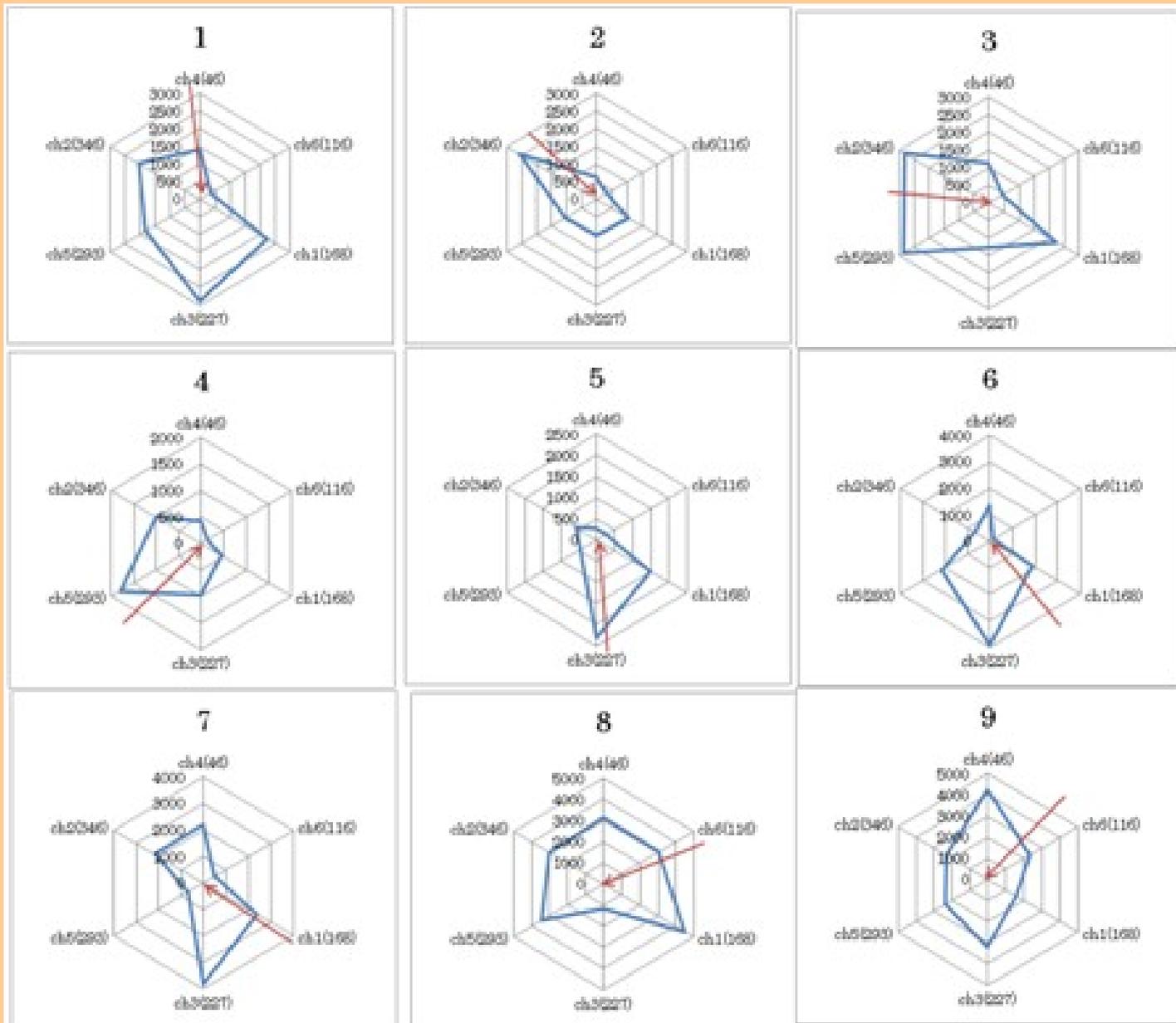


4日後, M5.5, 最大震度IVが発生した.



北緯42度19分 東経143度04分 深さ 53km M:5.5

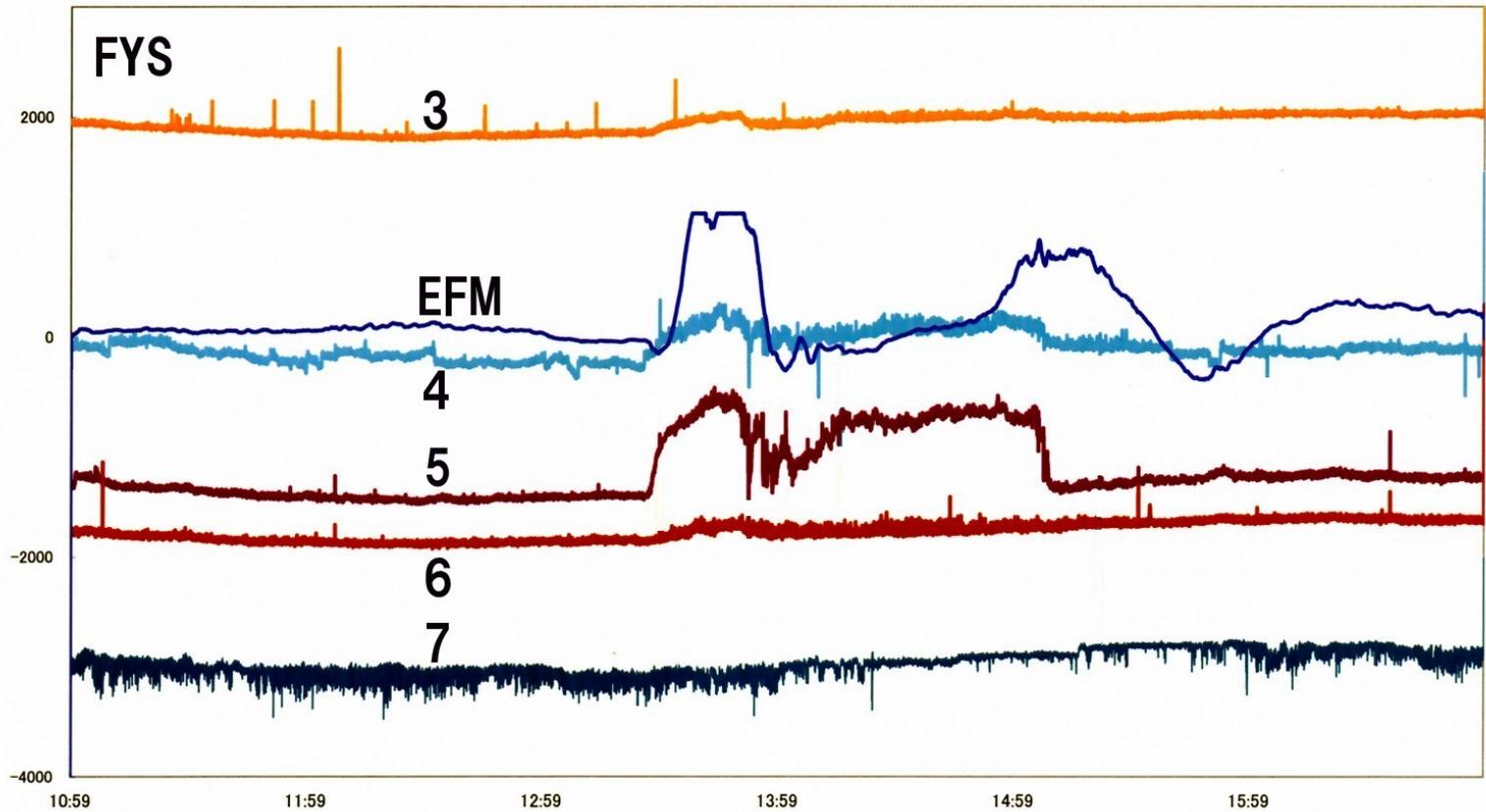
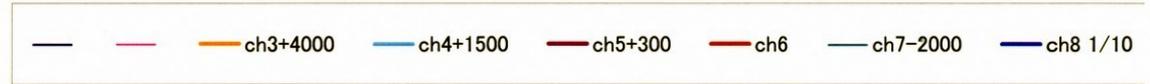
# 小電力発信器による方位キャリブレーション



# 大気電場の同時計測

fuyushi-090324k

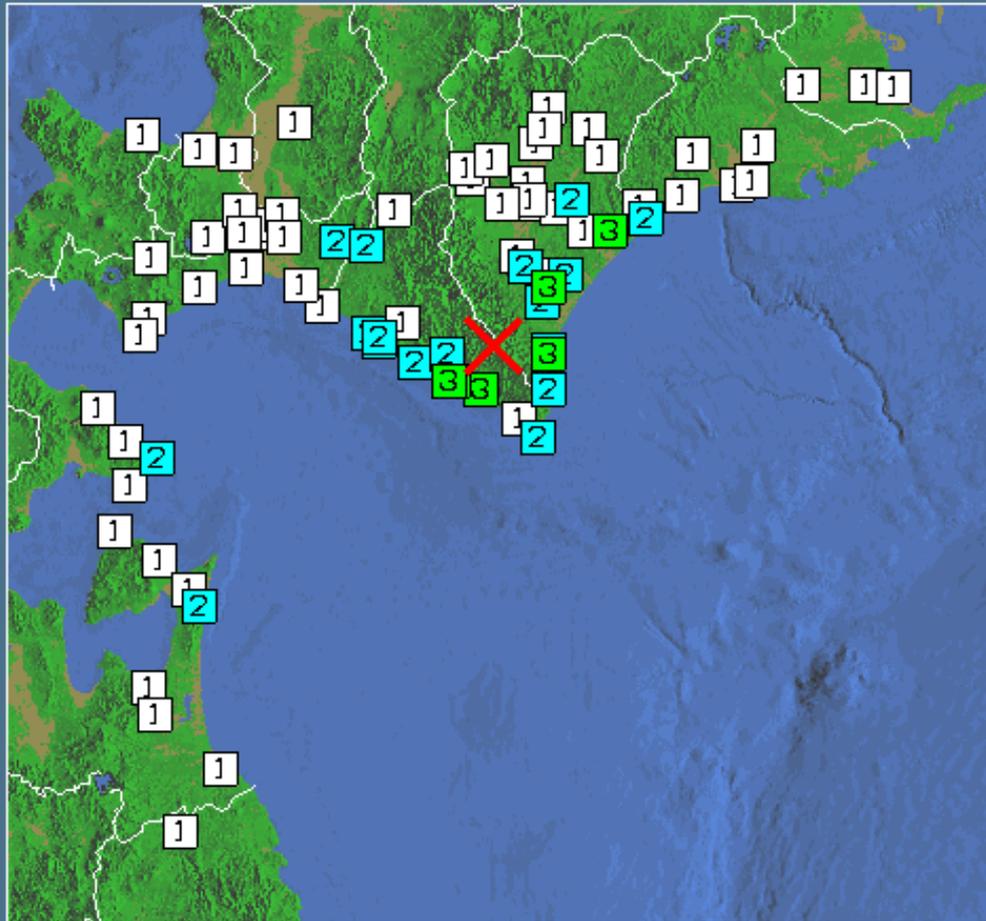
2009, Mar. 24



2009年04月05日17時00分 日高支庁東部

100km

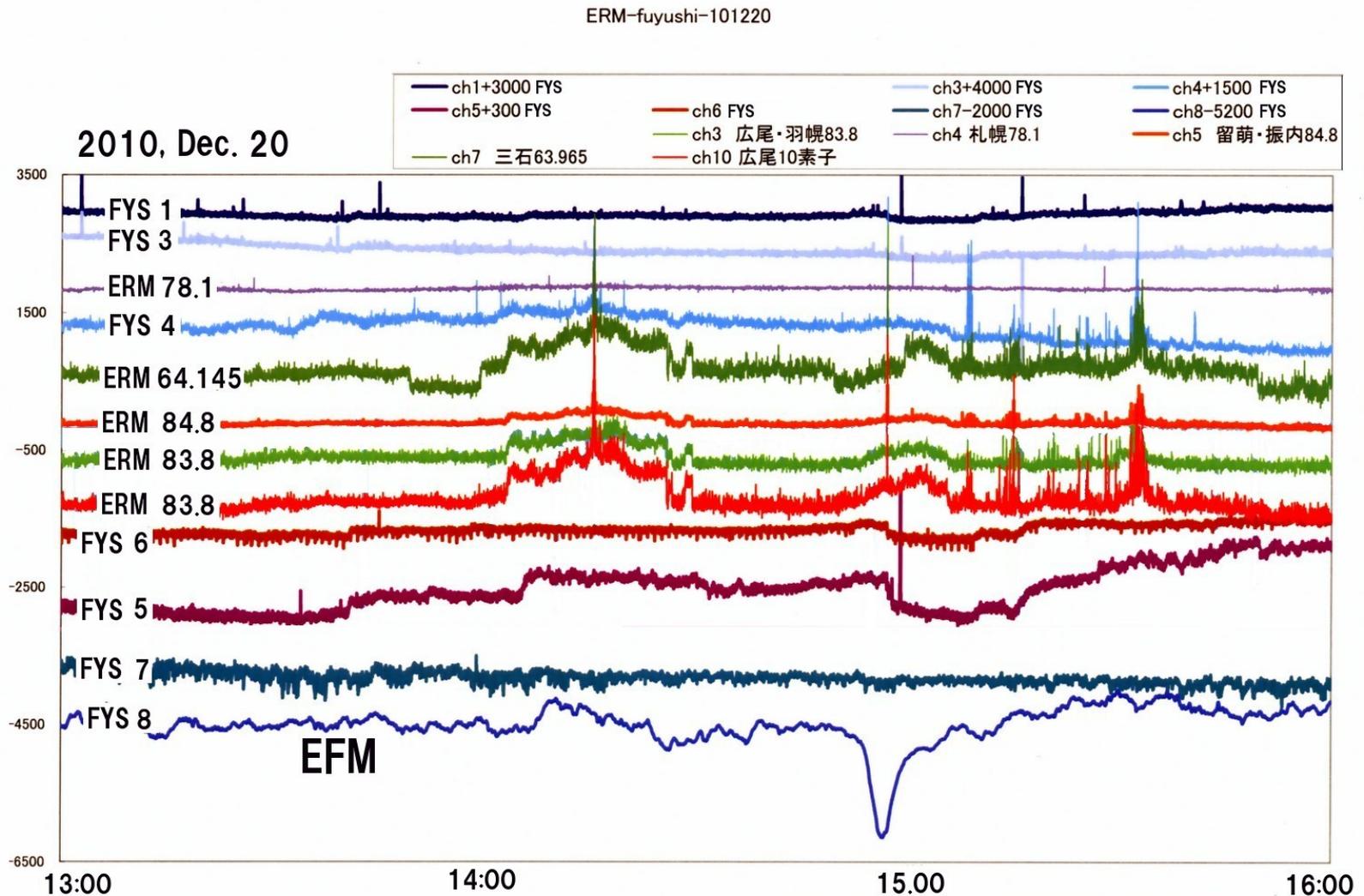
N= 80



北緯42度19分 東経143度00分 深さ 54km M:4.8

11日後, M4.8  
最大震度Ⅲが  
発生した.

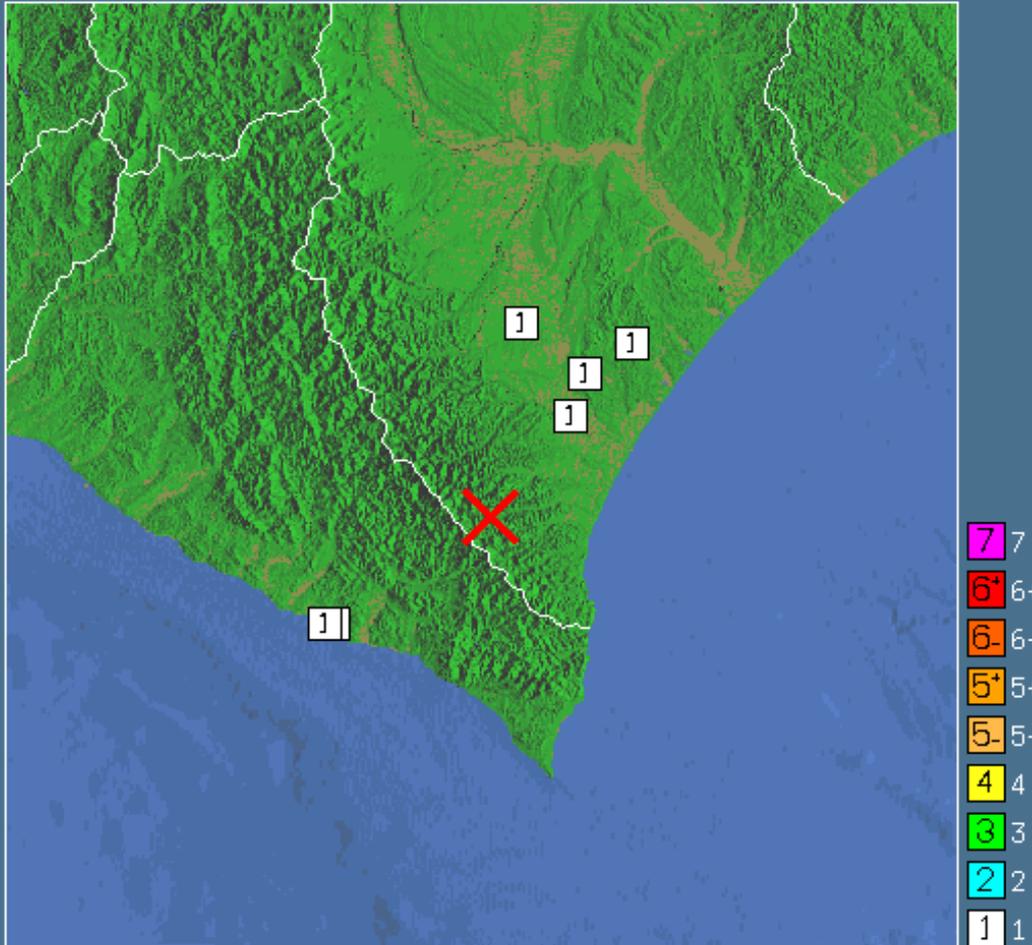
# まだ事例は少ないが大気電場は+地震エコー と同時に+へ変化する



2010年12月24日23時57分 十勝地方南部

50km

N= 6



北緯42度20分 東経143度07分 深さ 49km M:3.8

4日後, M3.8,  
最大震度 I が  
発生した.

# 地震エコーの規則性

時空間	Mに依存する
再現性	ある
統計的性質	総継続時間 $T_e$ と最大深度 $I_{max}$ 、M 静穏期は不確実
同時性	弱い
偏波特性	回転している 散乱波の特徴
到来方位	測定可能 時間的に変動
大気電場	正側へ変動する可能性

# 太平洋沖地震の地震エコー

2011年6月27日が最初

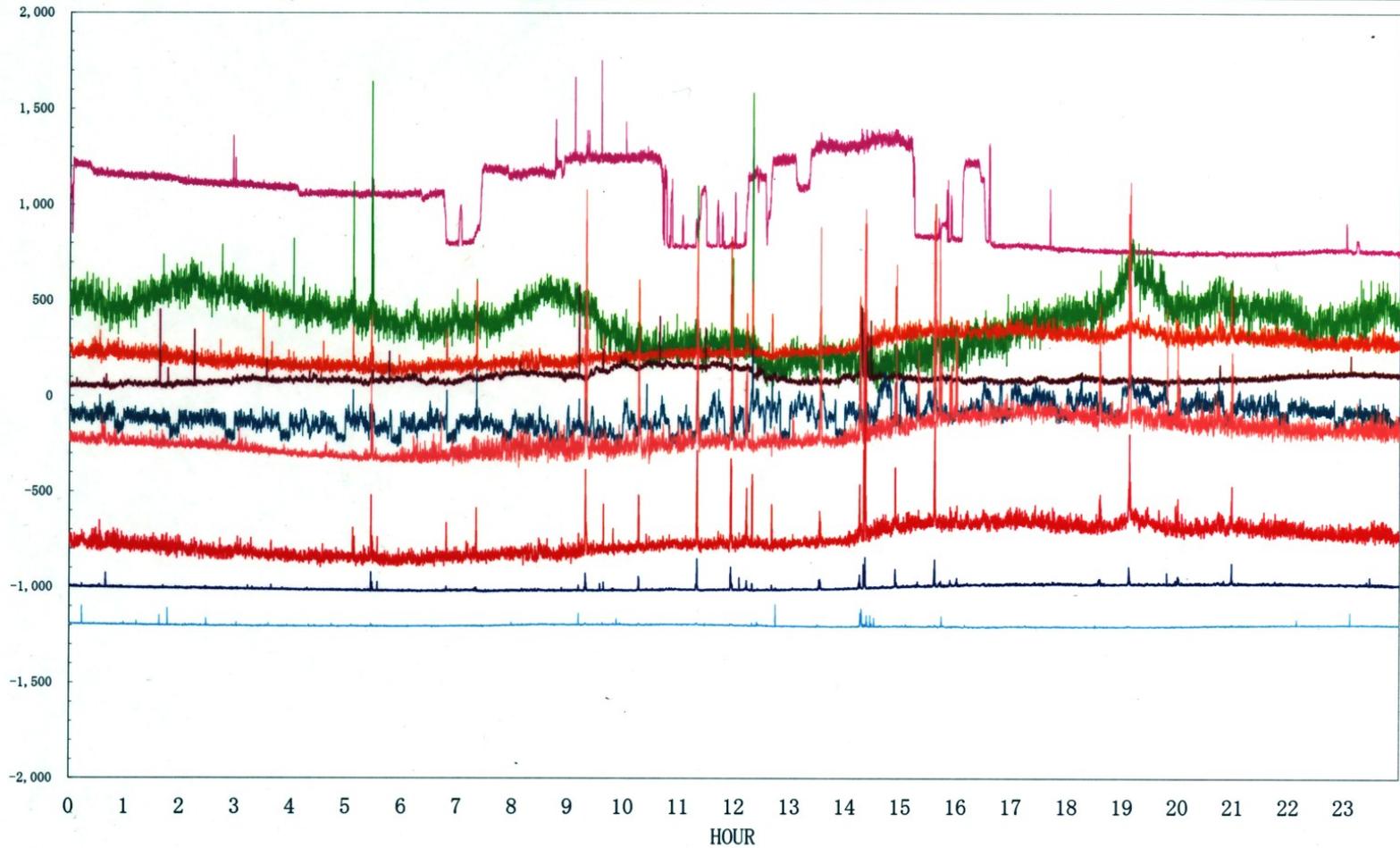
2012年3月11日まで Teは約200000分

# 2010年6月27日から始まったERM-葛巻または種市からの地震エコー(89.9MHz) 2010年7月31日の記録

ERM-100731

ch8 1/5

- |                |                 |                 |
|----------------|-----------------|-----------------|
| — ch1 広尾8素子    | — ch2 中標津89.9   | — ch3 広尾・羽幌83.8 |
| — ch4 札幌78.1   | — ch5 留萌・振内84.8 | — ch6 静内84.0    |
| — ch7 三石63.965 | — ch8 帯広77.5    | — ch10 広尾10素子   |



# 2010年12月02日

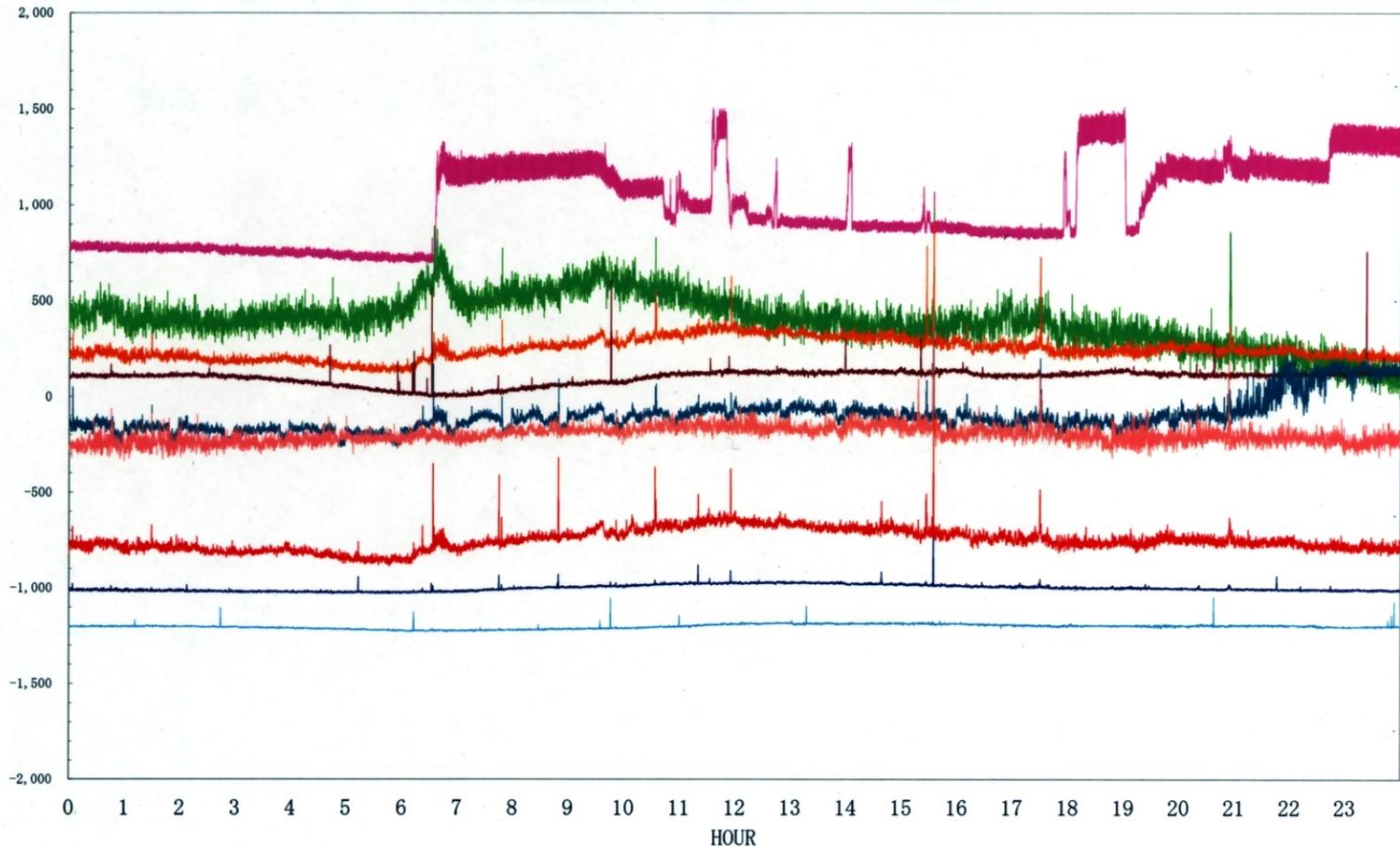
ERM-101202

ch8 1/5

— ch1 広尾8素子  
— ch4 札幌78.1  
— ch7 三石63.965

— ch2 中標津89.9  
— ch5 留萌・振内84.8  
— ch8 帯広77.5

— ch3 広尾・羽幌83.8  
— ch6 静内84.0  
— ch10 広尾10素子



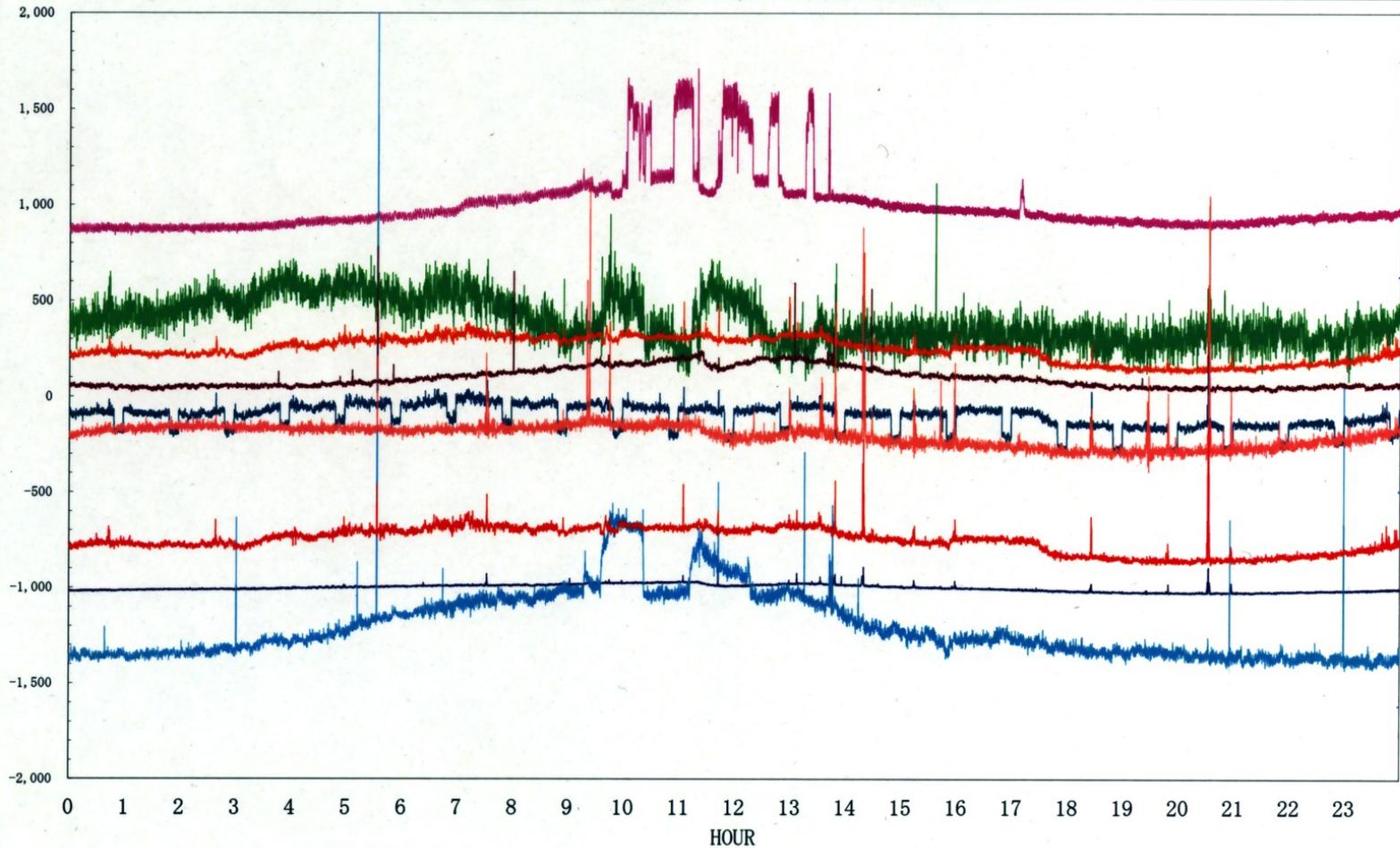
# 2011年3月12日

青のトレースはおそらく長野から(塩釜は被災で停止)

ERM-110312

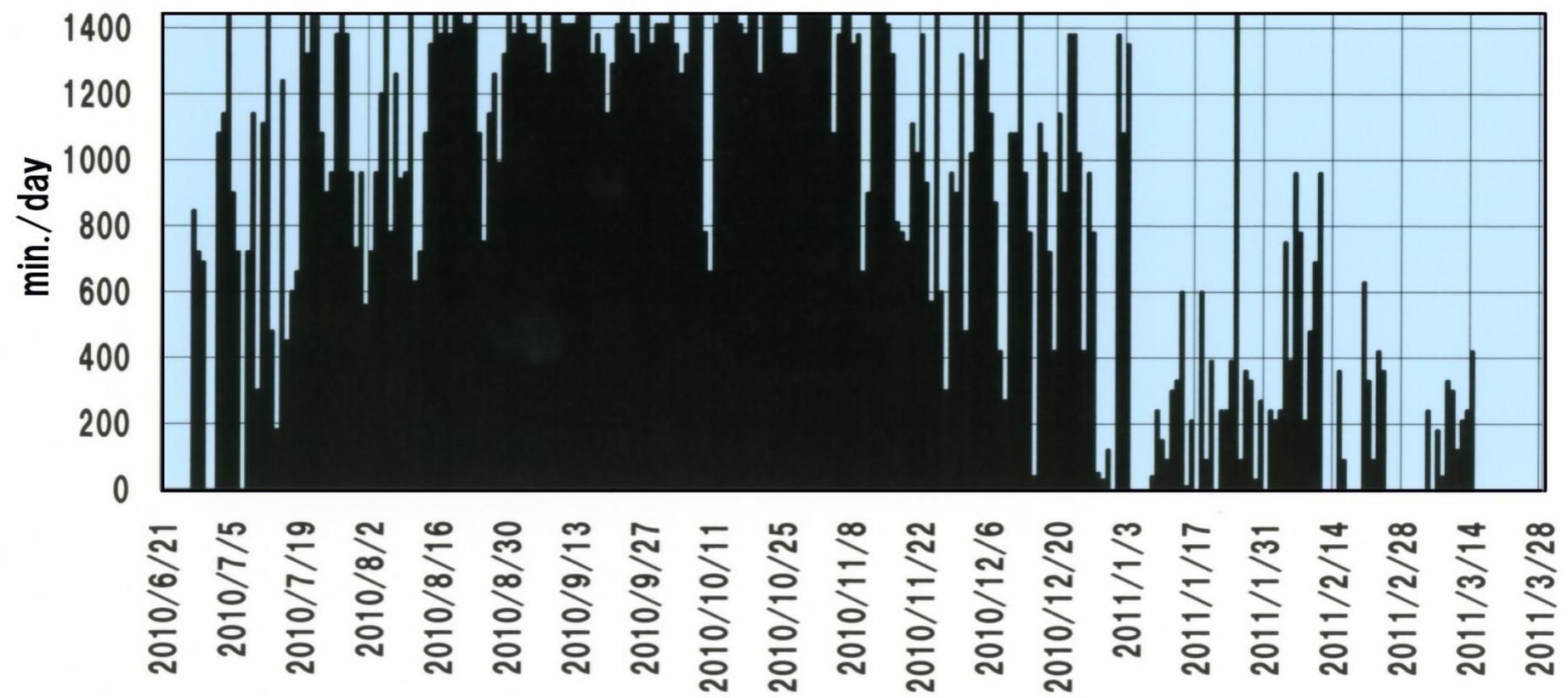
ch8 1/5

— ch1 広尾8素子-1000	— ch2 中標津89.9+1000	— ch3 広尾・羽幌83.8+400
— ch4 札幌78.1*2-1200	— ch5 留萌・振内84.8+250	— ch6 静内84.0+100
— ch7 三石63.965-100	— ch8 帯広77.5-200	— ch10 広尾10素子-750

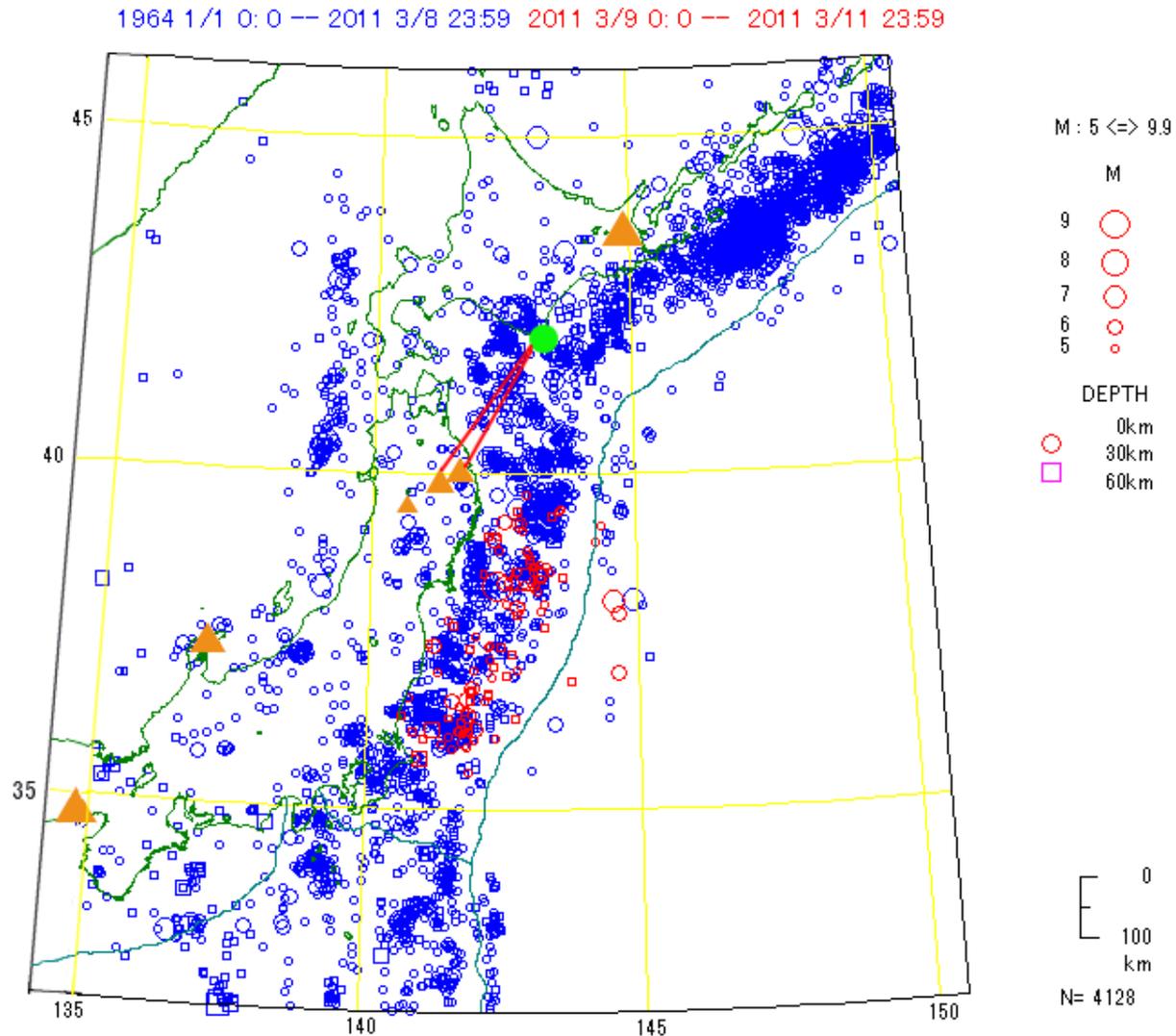


地震エコーの継続時間(分)の日変化  
2010年6月27日から始まった. 3月09日までの積算量はM8-9  
相当.

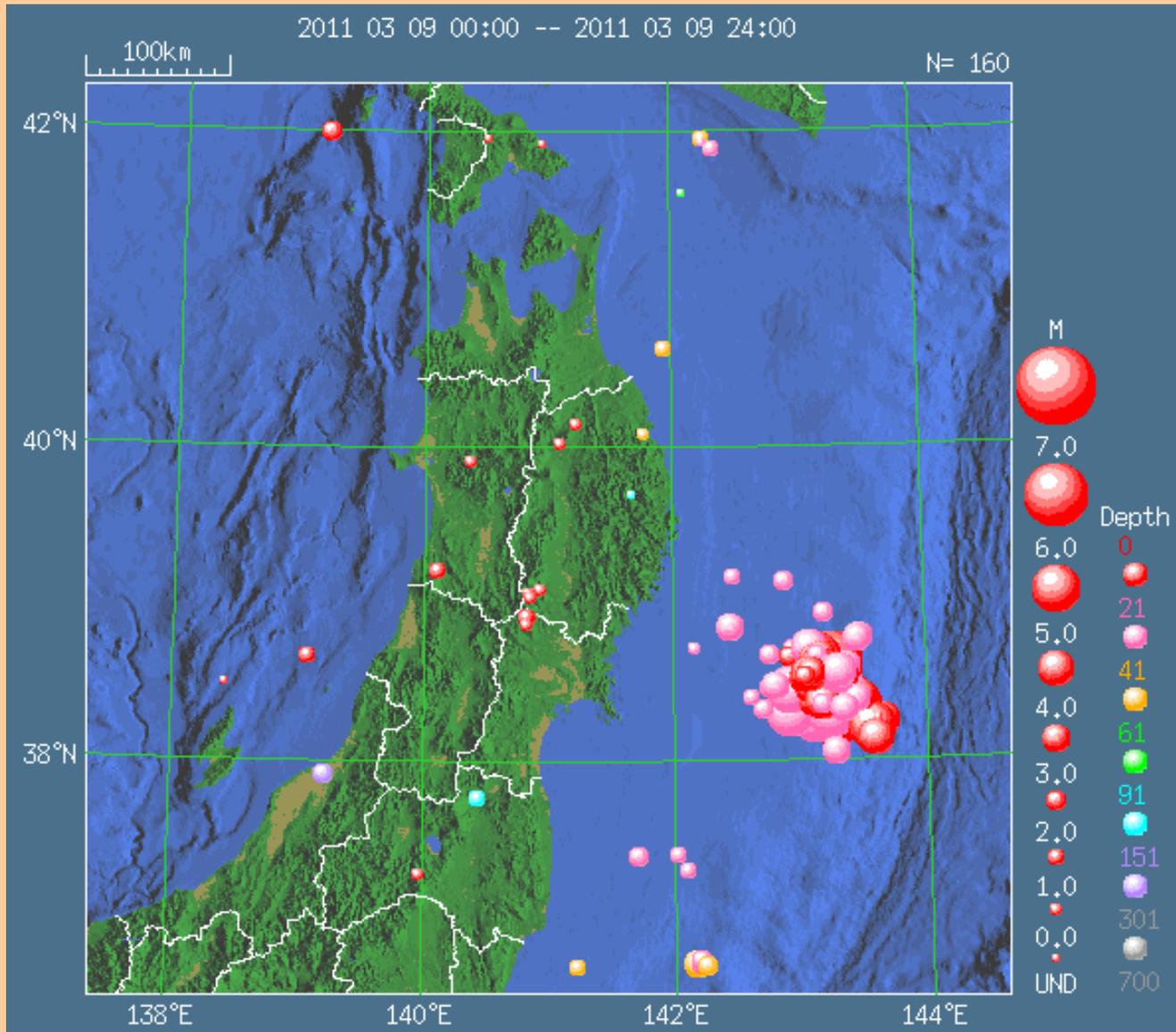
### ERM-89. 9Mhz



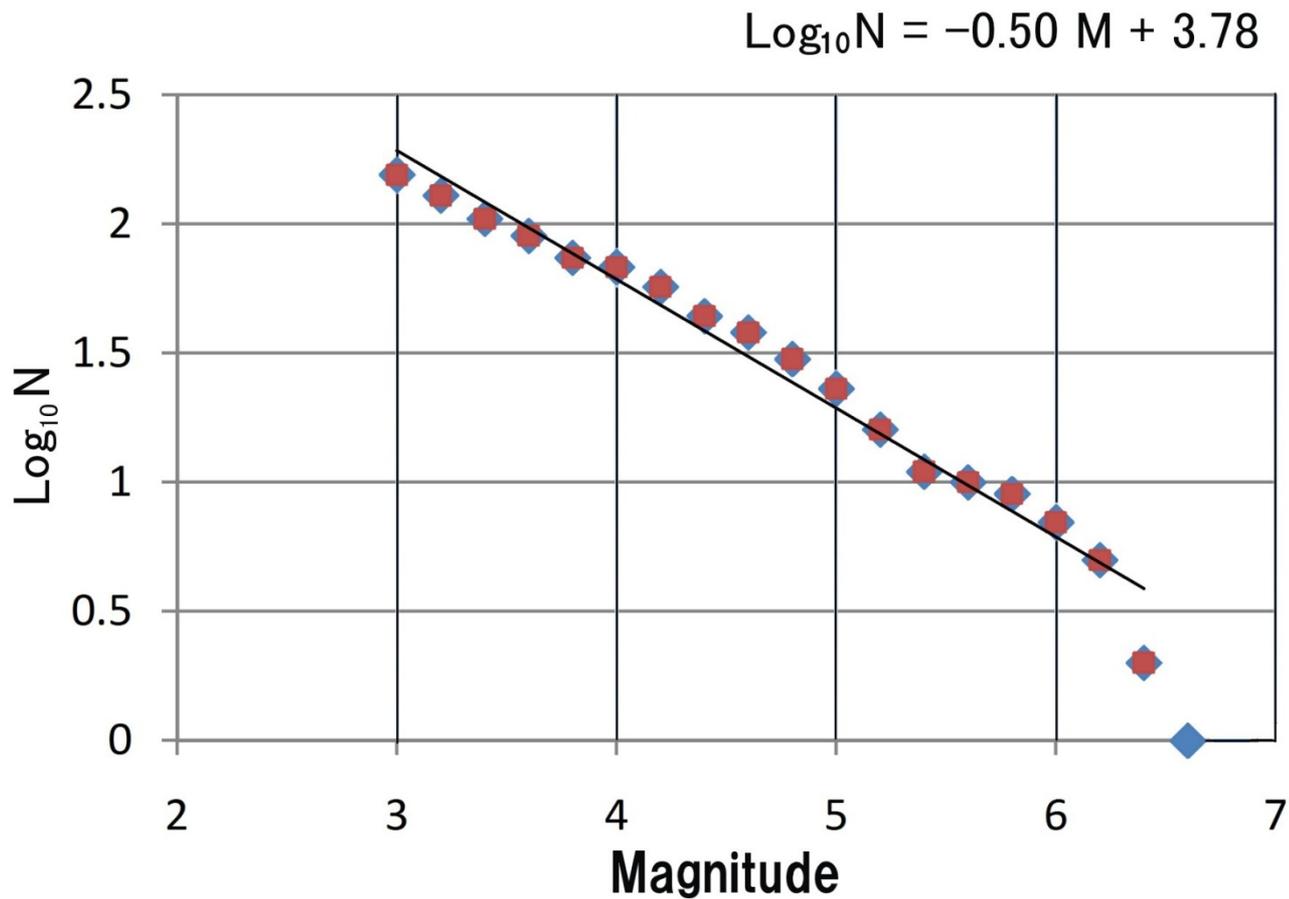
石川さんのHPから、M>5 えりもが受信した  
89.9MHzのFM波はどここの送信所からか？  
神戸，輪島，岩手県の葛巻と種市



# 3月9日のM7.3は前震の特徴を持つ

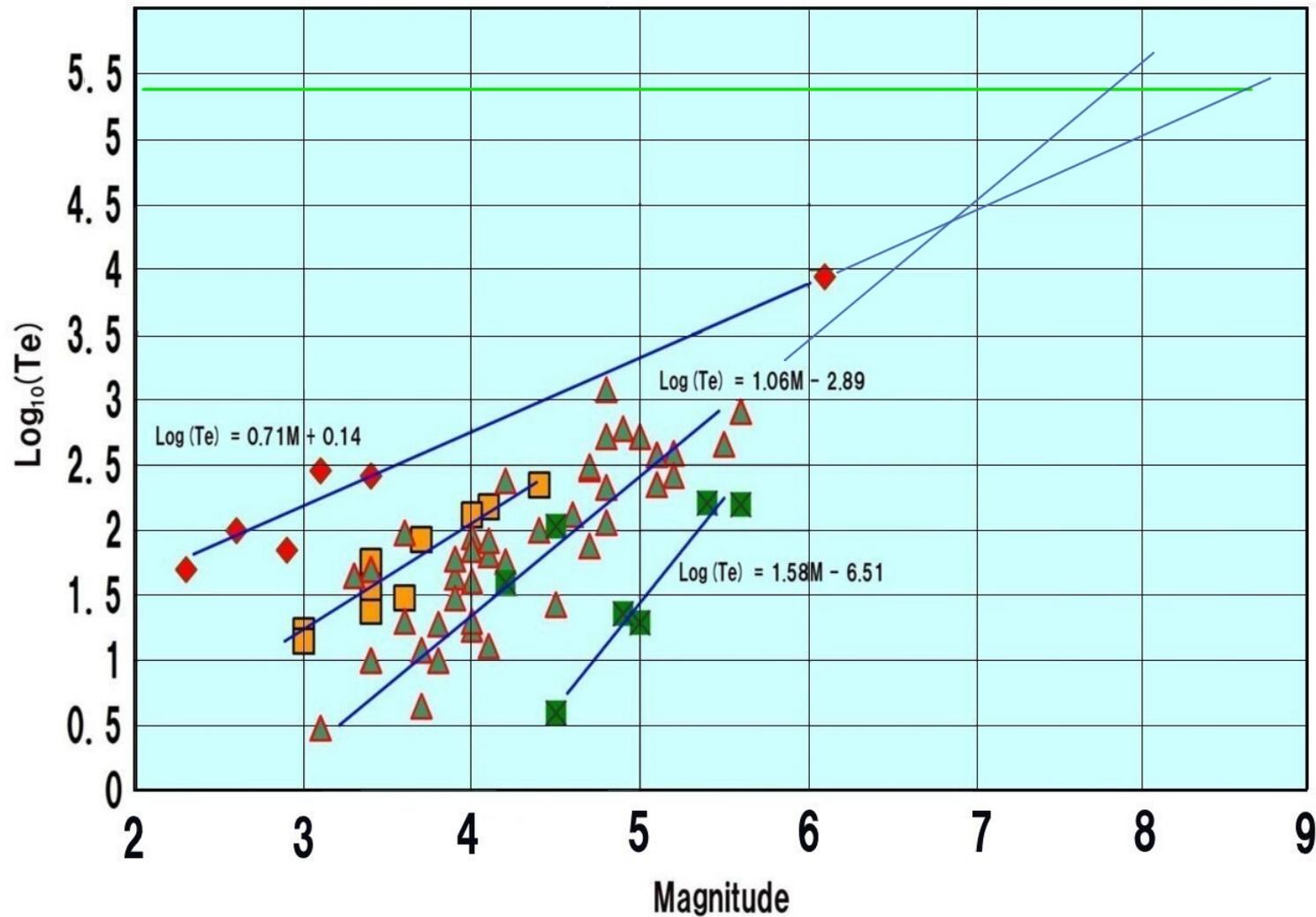


# グーテンベルグリヒター—の式のb値が小さい =前震である 24時間の余震



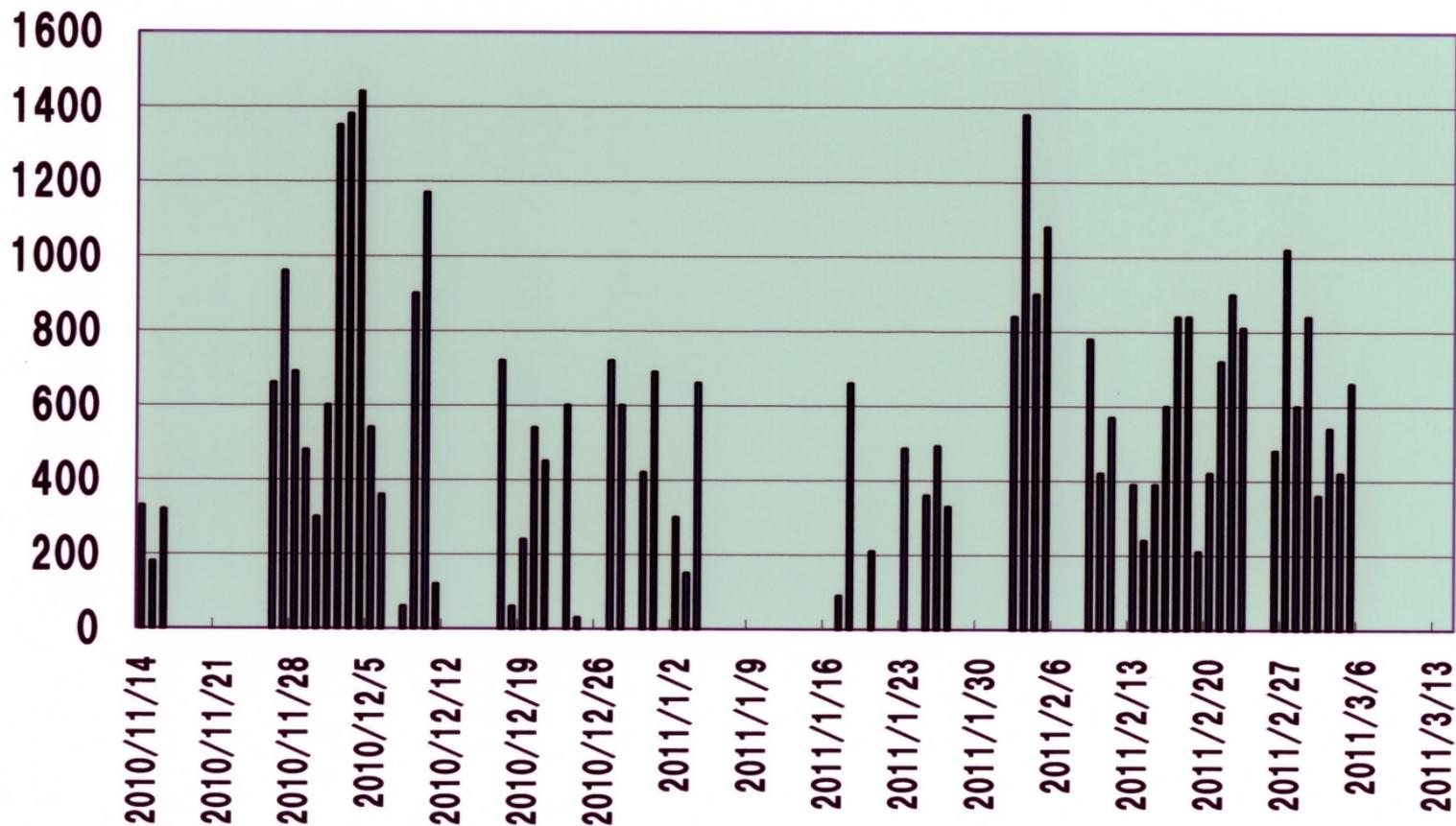
# 日高山脈の経験式を使うとM8~9

ERM - H00 (83.8MHz)



# HSS-NTT中継電波からの地震エコー(混信) (発信場所は不明)11月14日以前は不明

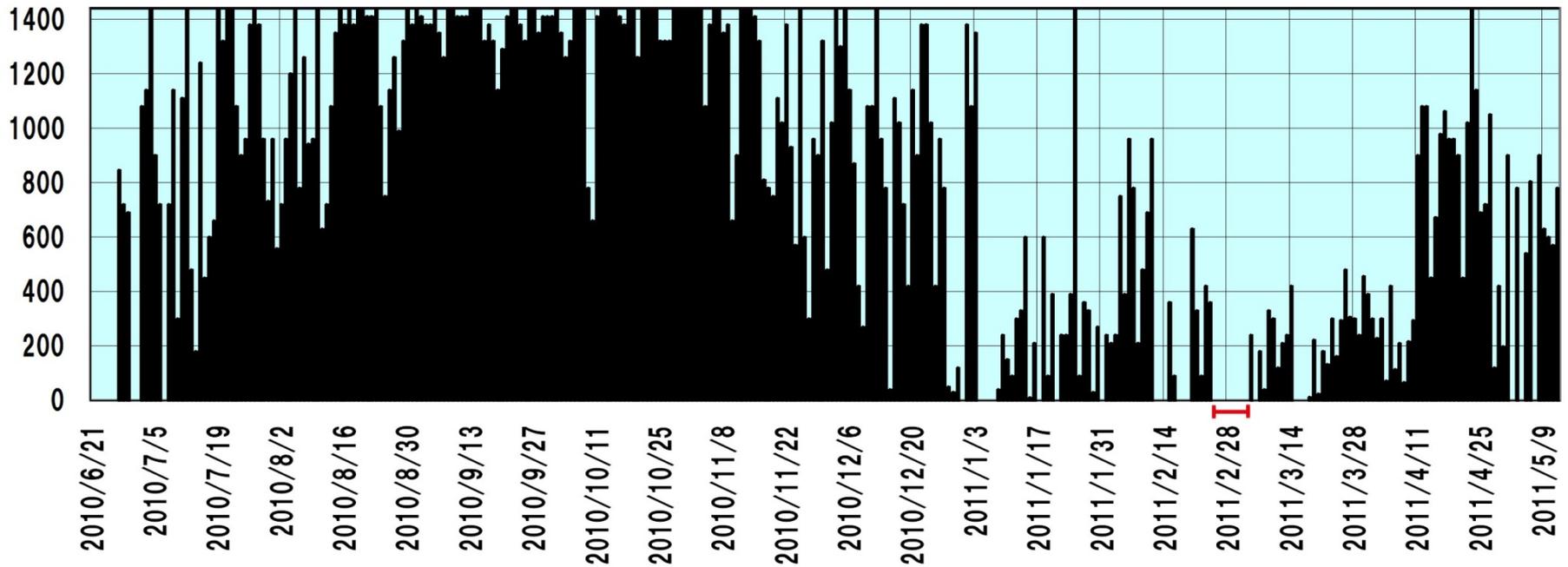
## HSS-MUJ



## 日別地震エコー観測量(分)

2010年6月27日から始まった89.9MHzの地震エコーは3月09日までにM8-9相当に達した. 本震後, 4月11日から増加している. 3月11日からの総計はM7.3程度分. 今後注意が必要.

### ERM-89.9Mhz



大きい地震ほど地震エコーは広域的  
に現われる

大地震が迫っていることは判っても  
発生時期と  
震央を推定する誤差は大きくなる。  
中長期予報は重要。

# 散乱波を起こす物体は？

地表に近い大気内にあるエアロゾルが  
強く+に帯電している

冬島では震央ではなく海からやってくる

Freund (2000)の説

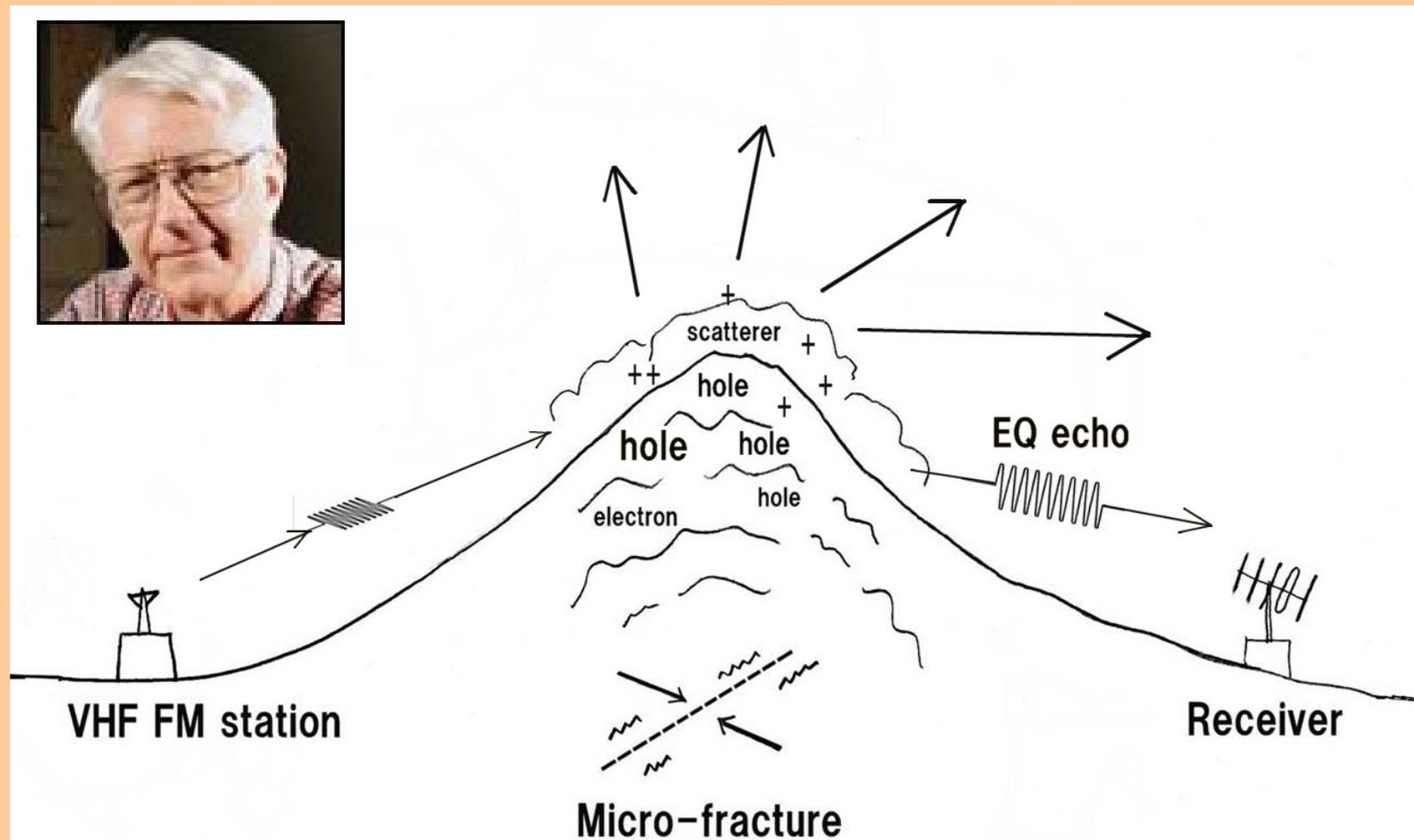
正孔(P-hole)の地表への移動説

上部地殻はP半導体である

Pulinets & Ouzounov (2010)のラドン起源説

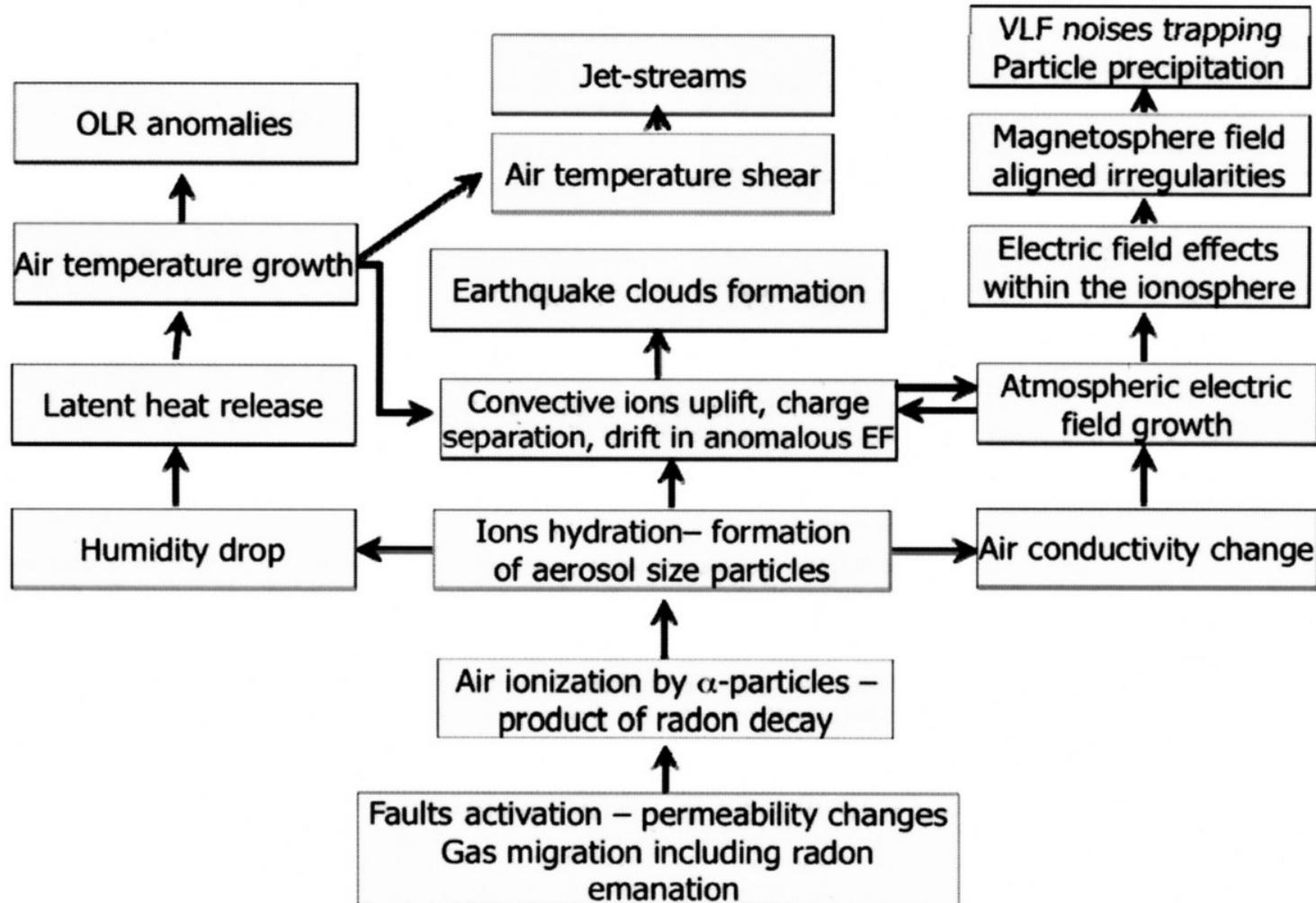
地震雲も説明する

散乱波の発生のメカニズム. 地殻内部に普遍的に存在する過酸化架橋(電子が不足している)が圧力や温度の上昇によりP-holeとなって荷電子帯を自由に移動し, 地表へも達することが出来る. これは可逆反応である(F. Freund, 2000). 地表は正に帯電し電波を散乱させる.



# Pulinets and Ouzounov (2010)

*S. Pulinets, D. Ouzounov / Journal of Asian Earth Sciences xxx (2010) xxx-xxx*

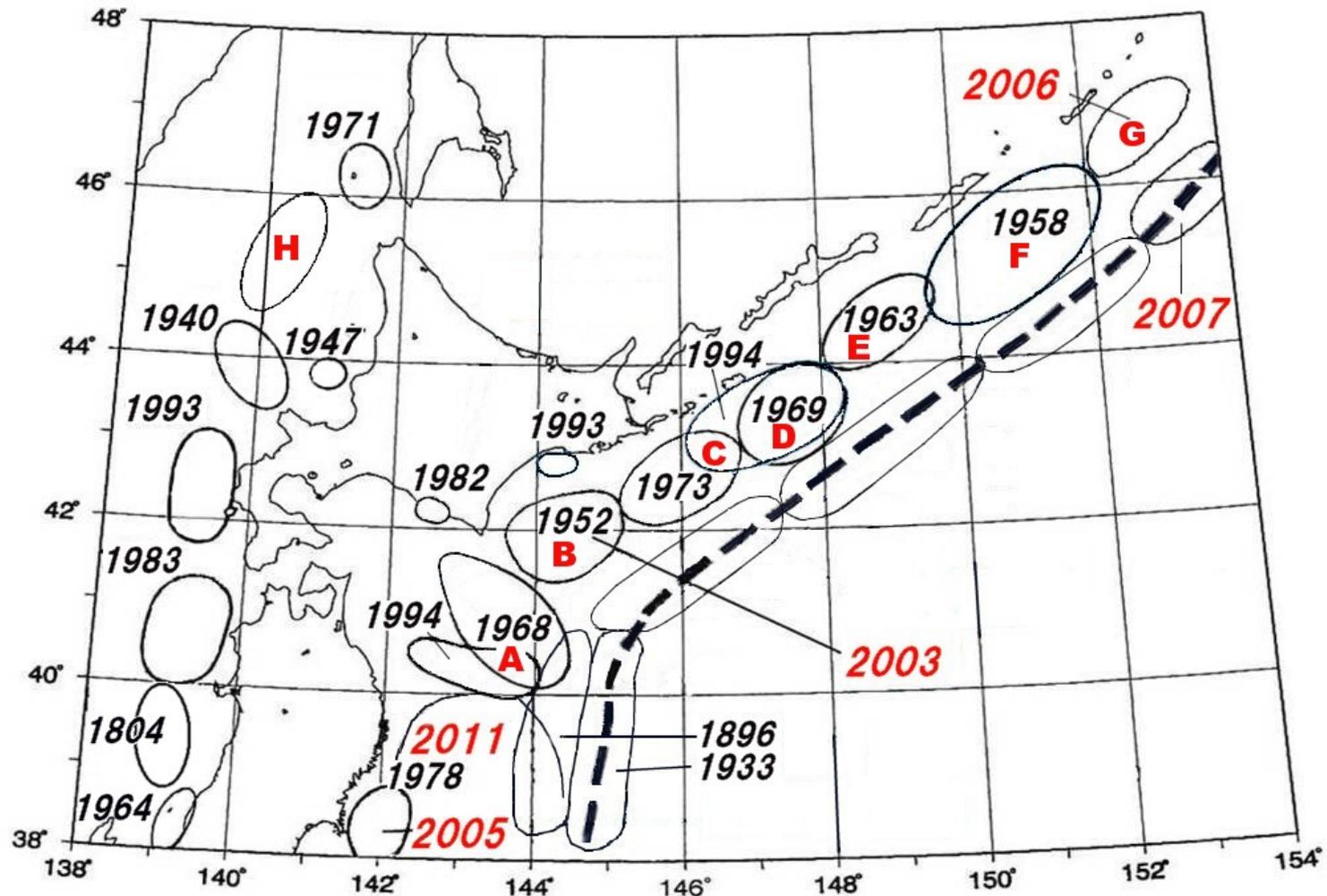


**Fig. 10.** Schematic presentation of the LAIC model.

# 広尾町から見る日高山脈

御静聴感謝いたします

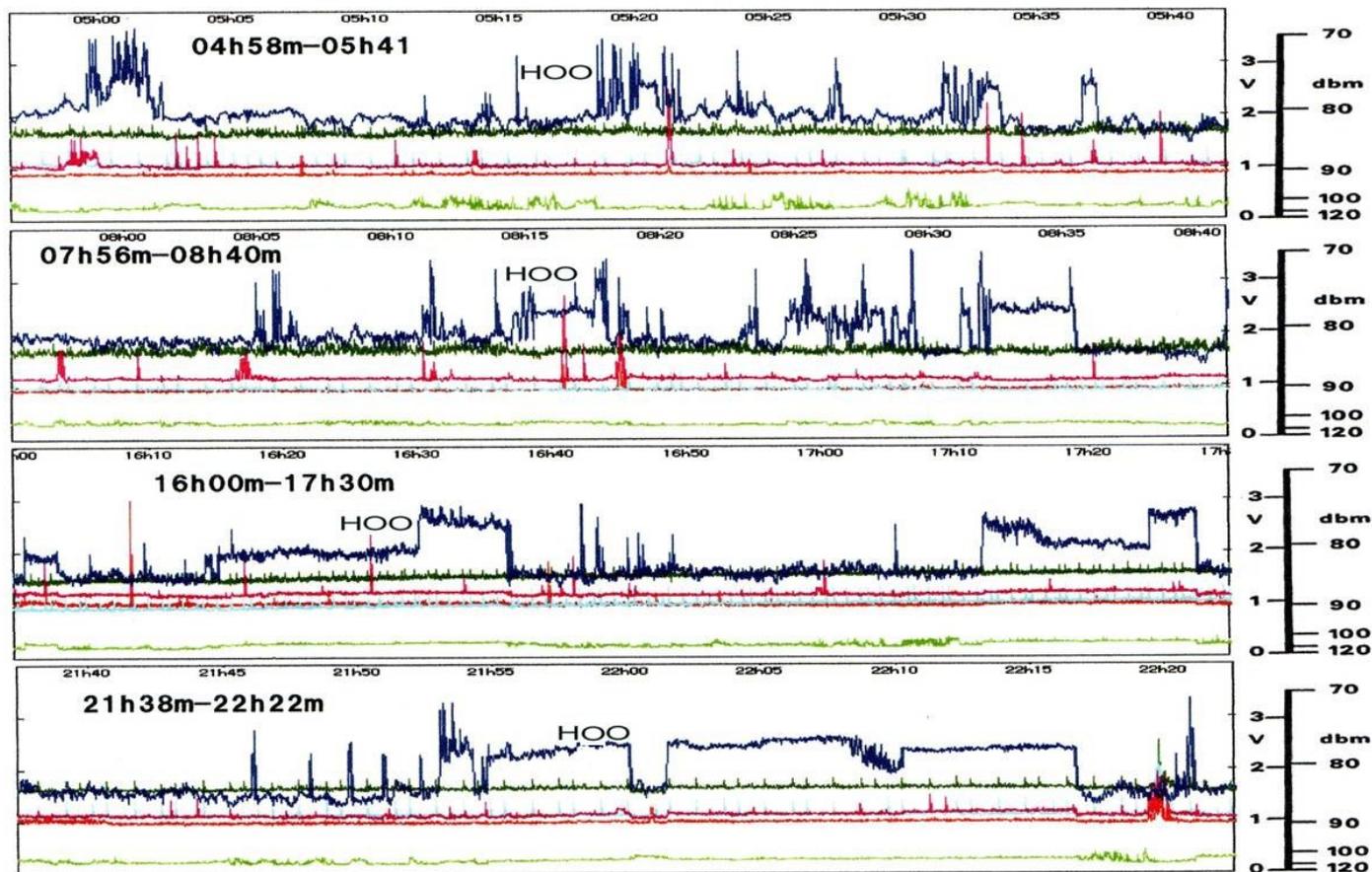
# 大地震は固有の場所を持って棲み分けていて 一定の期間内に繰り返り起こる



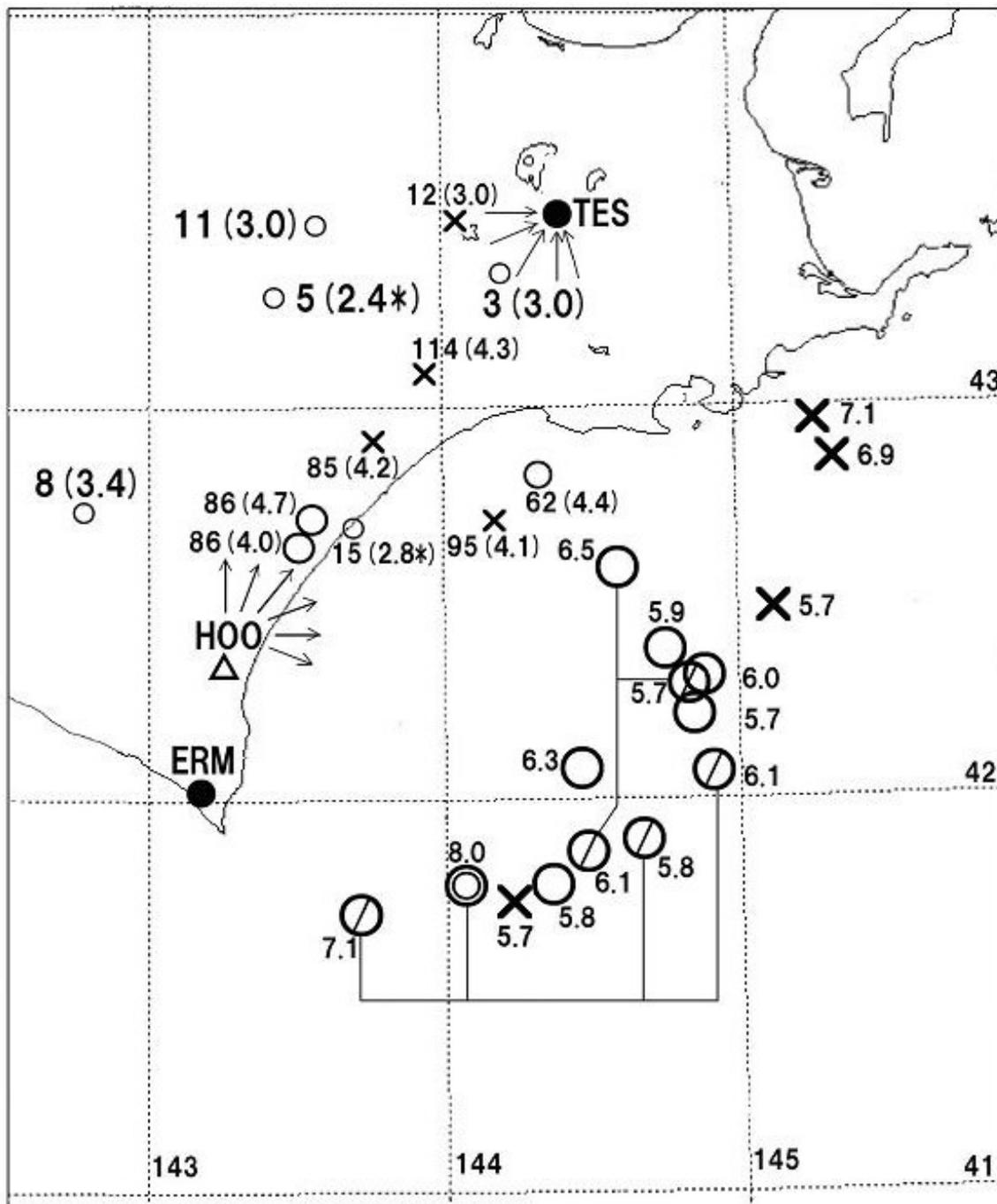
# 十勝沖，根室沖での観測事例

# 2003年9月弟子屈観測点完成した次の日の記録にNHKFM広尾からの地震エコーが観測されていた

TES 03, Sep. 04

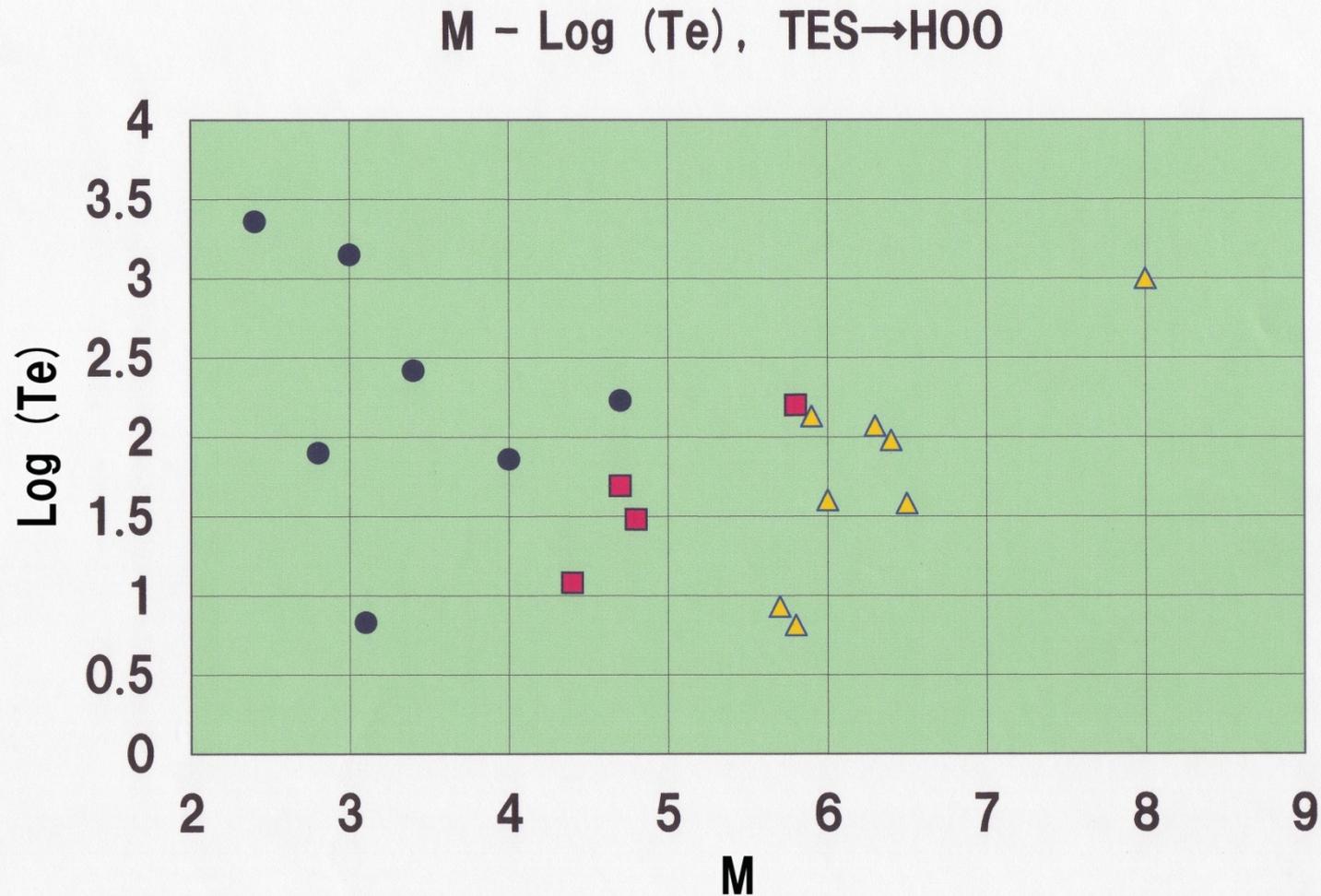


■ 1	URA	_____	-1.9999	~	1.9999	V
■ 2	NIG	_____	-1.9999	~	1.9999	V
■ 3	HAK	_____	-1.9999	~	1.9999	V
■ 4	NGY	_____	-1.9999	~	1.9999	V
■ 5	HOO	_____	-1.9999	~	1.9999	V
■ 6	No station	_____	-0.99995	~	2.99985	V

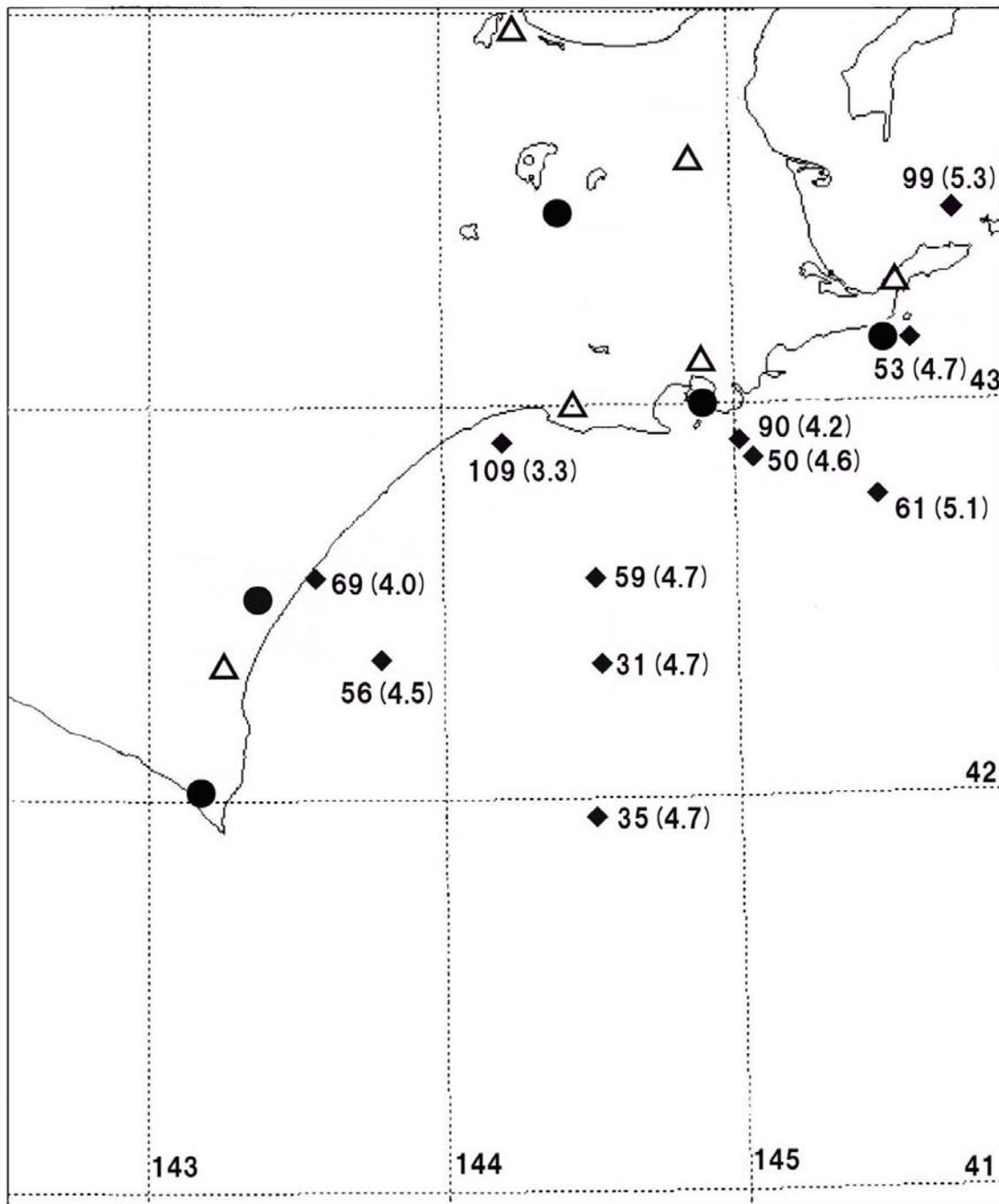


- 広尾FM局からの地震エコーを地震前に弟子屈で観測できた地震.
- 2003年十勝沖地震の直前に弟子屈観測点が完成した.
- 陸域では敏感に反応するが海域ではM6以上でなければ観測されない

NHKFM広尾からの地震エコーを弟子屈で観測した。  
(●)内陸, (■)沿岸, (△)沖



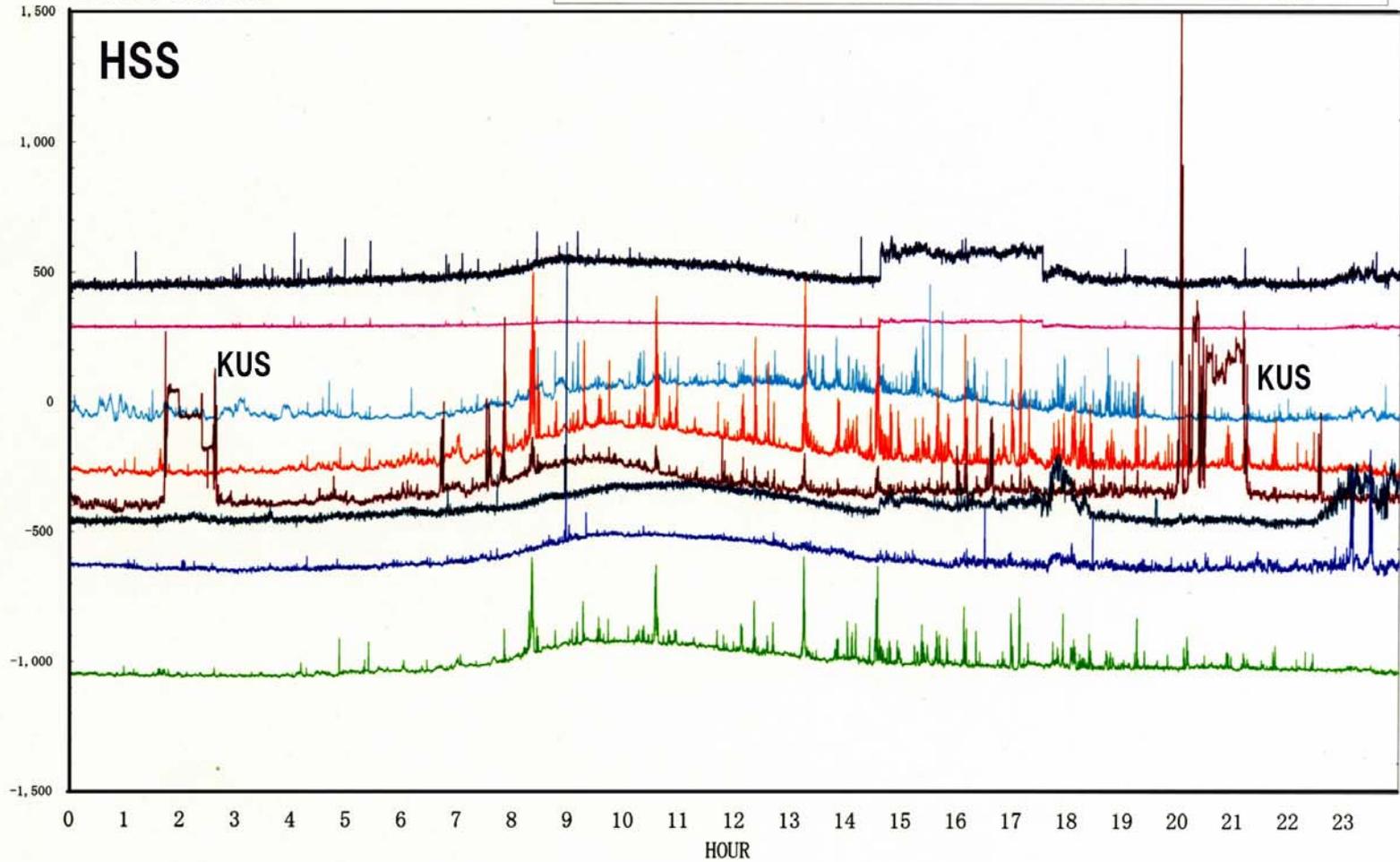




HSS(札幌)—釧路と  
HIR(広尾)-中標津を  
加えて検出力が高くな  
った。

HSS-101208

2010, Dec. 08



2010年12月15日14時43分 十勝沖

50km

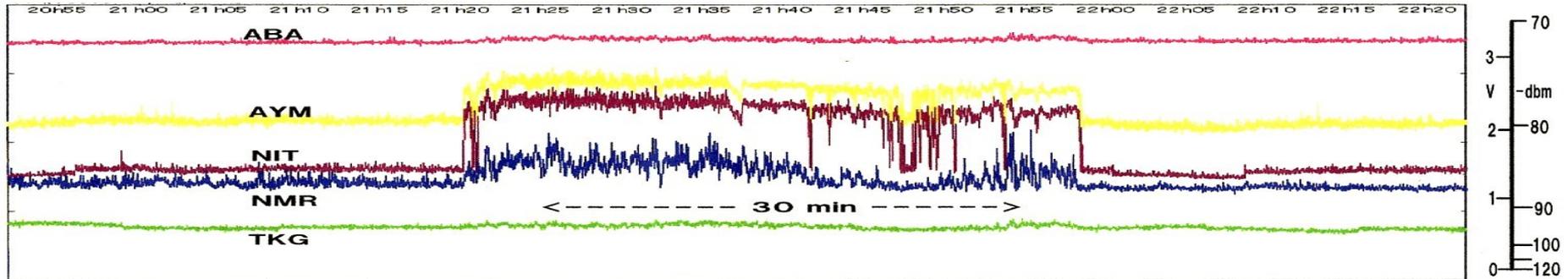
N= 32



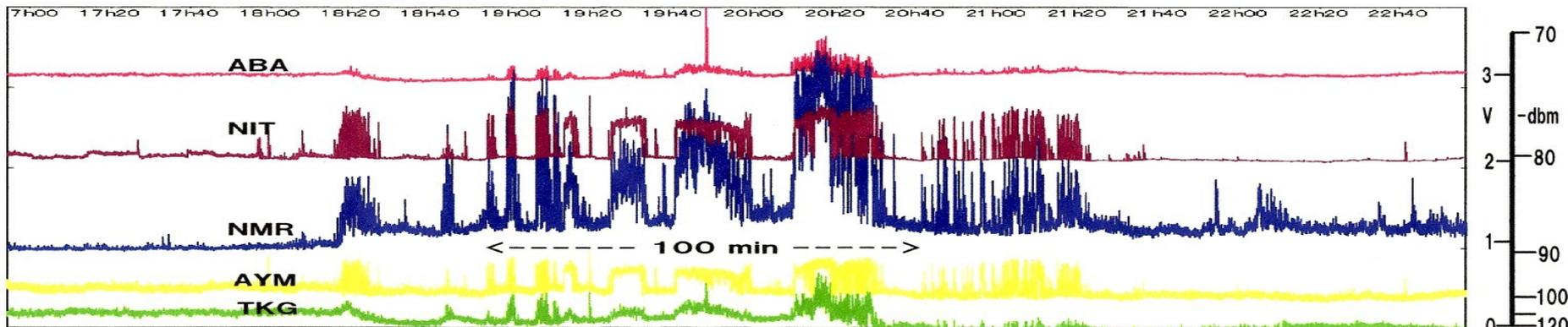
北緯41度57分 東経144度28分 深さ 35km M:4.7

2006年12月31日に根室沖で発生した地震の前に根室で観測された地震エコー. FM局と64MHz発信点からの信号が同時に観測されている

### OCI 2006, Dec. 23, 20h51m - 22h22m



### OCI 2006, Dec. 27, 16h56m - 22h52m

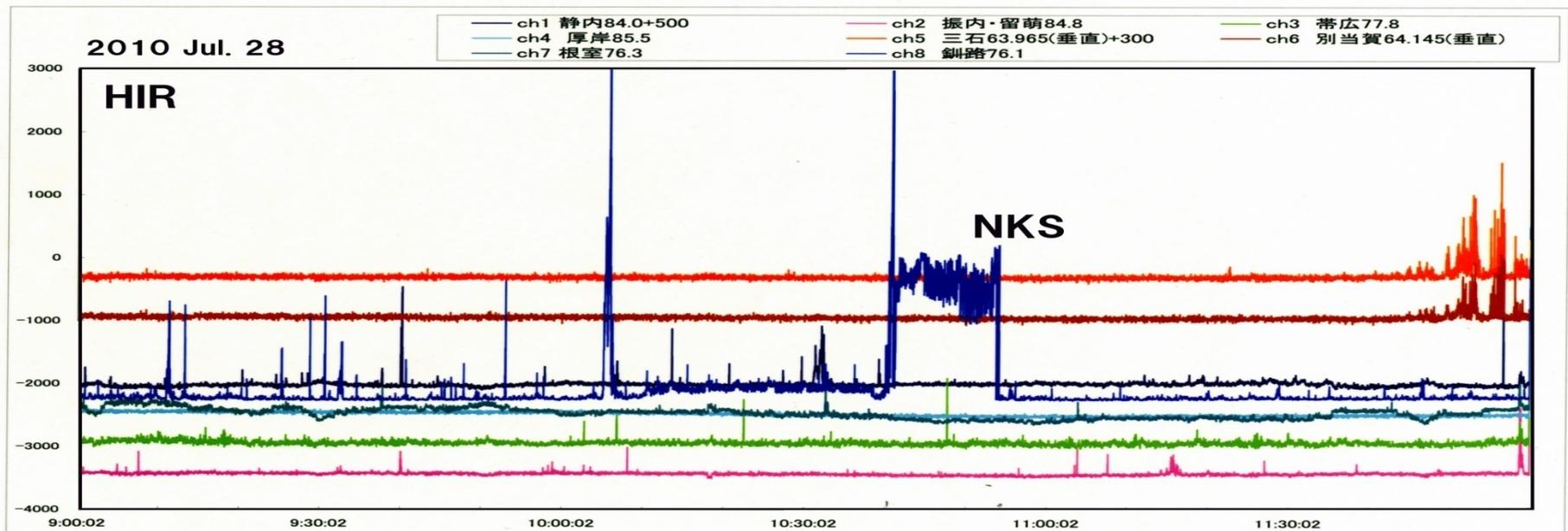
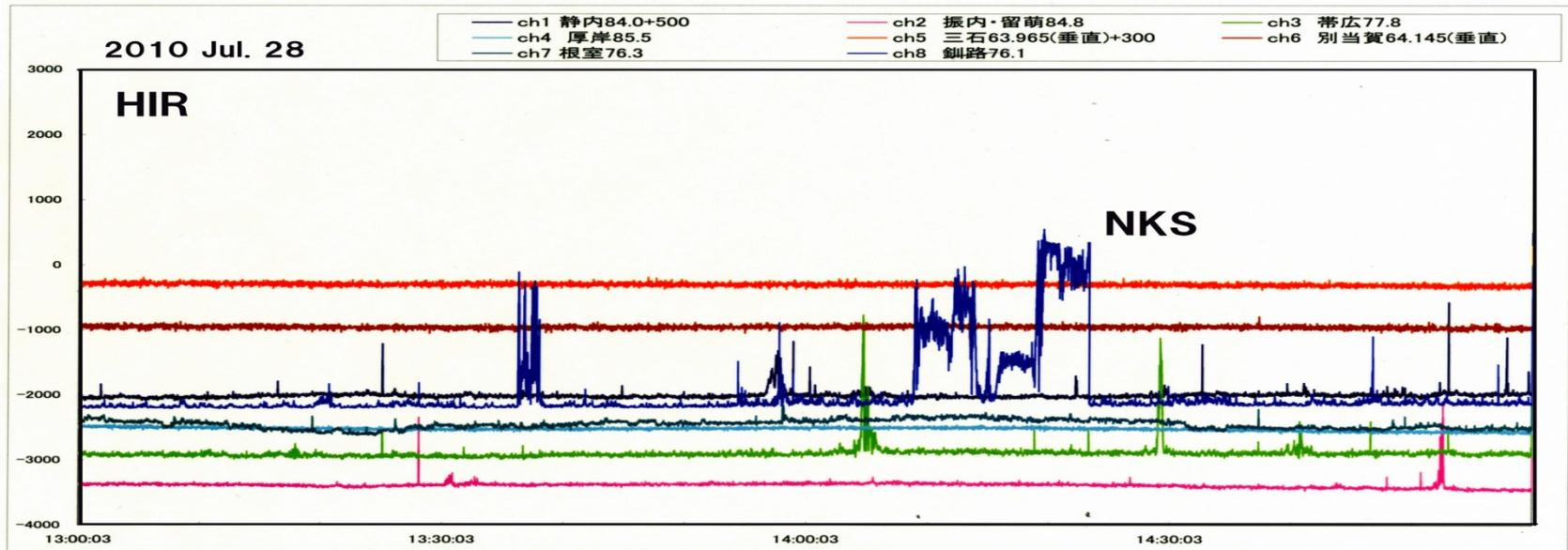


4	ABA	83.1 MHz	-2.99985	0.99995	V
6	NMR	85.6 MHz	-1.99999	1.99999	V
7	NIT	64.175 MHz	-2.99985	2.99995	V
8	AYM	64.085 MHz	-0.99995	2.99985	V

# 2006年12月31日に発生した根室沖の地震 最大震度は予想どおりIVであった。

2006年12月31日07時34分 根室半島南東沖

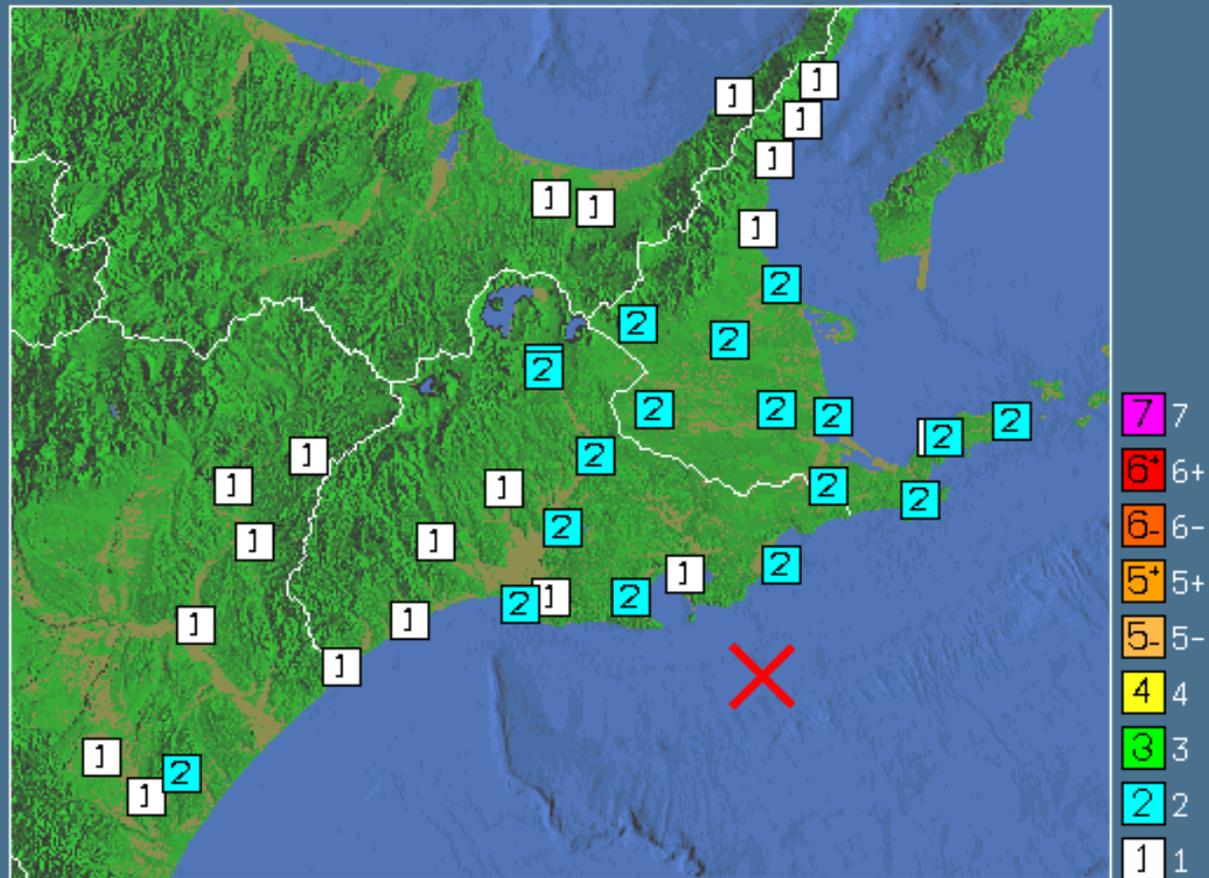




2010年08月07日14時31分 釧路沖

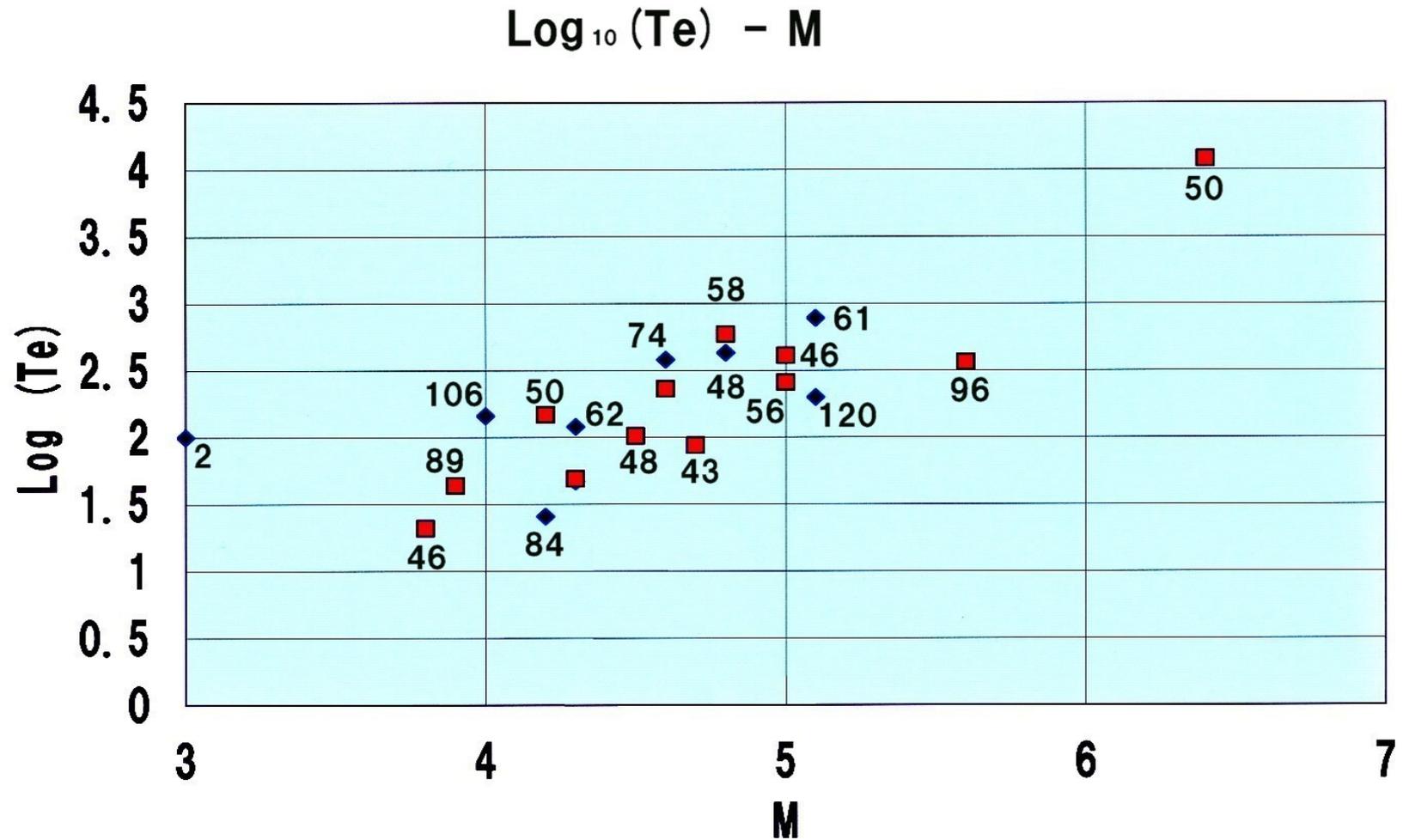
50km

N= 39

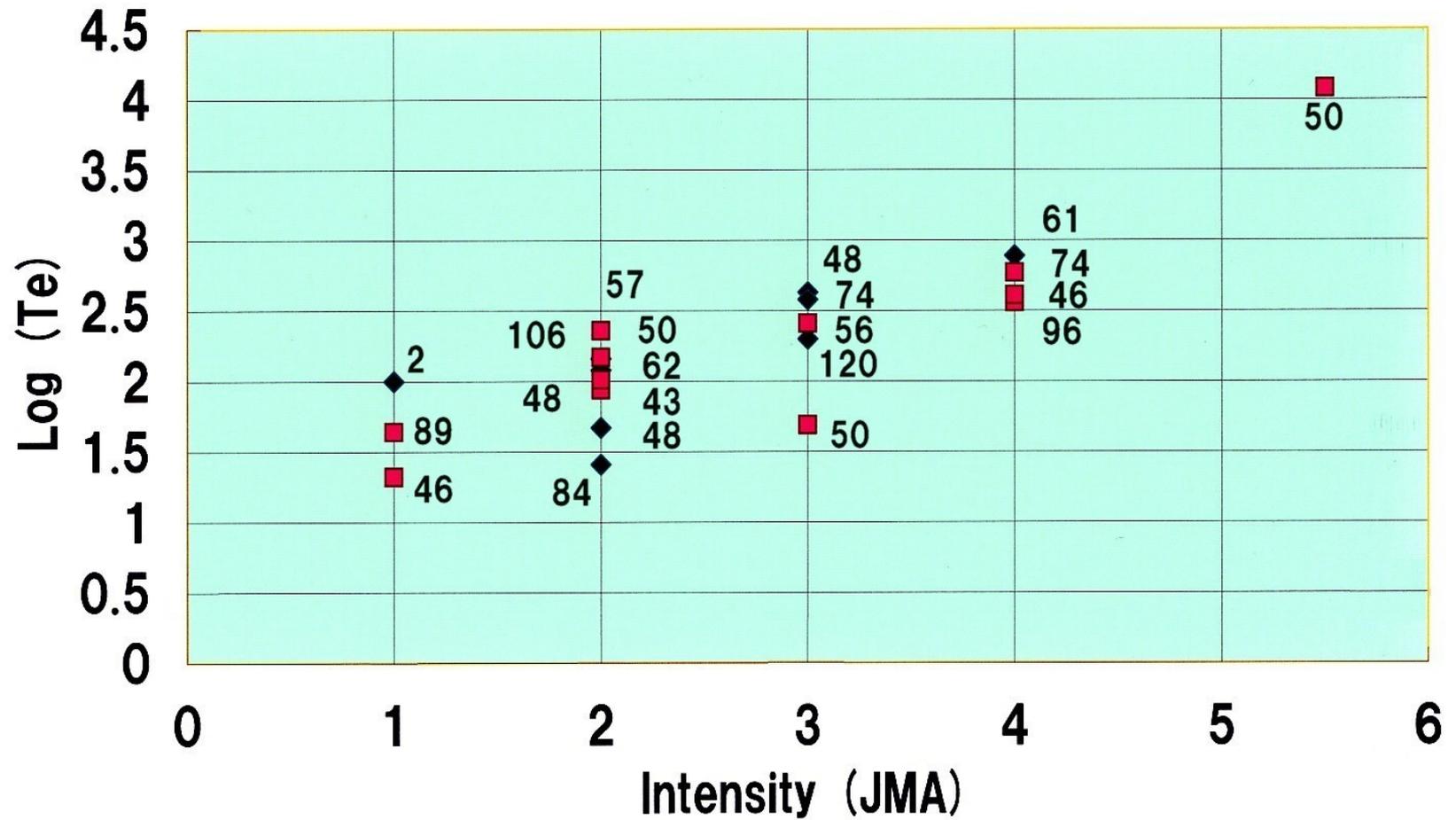


北緯42度50分 東経145度04分 深さ 50km M:4.6

# 北海道東部の観測網で得られたTeと最大震度との関係



# Log<sub>10</sub> (Te) - Intensity

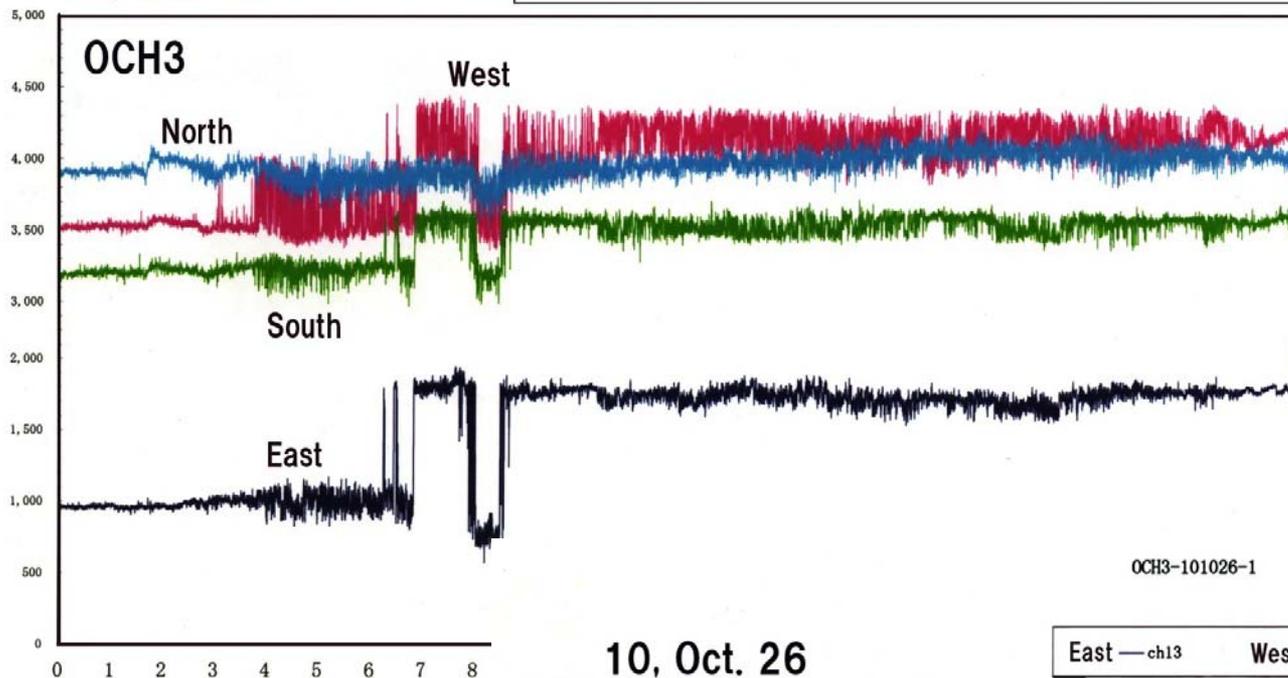


# NHKFM根室85.6Mhzを東西南北に向けた 八木宇田アンテナで監視する



10, Oct. 26

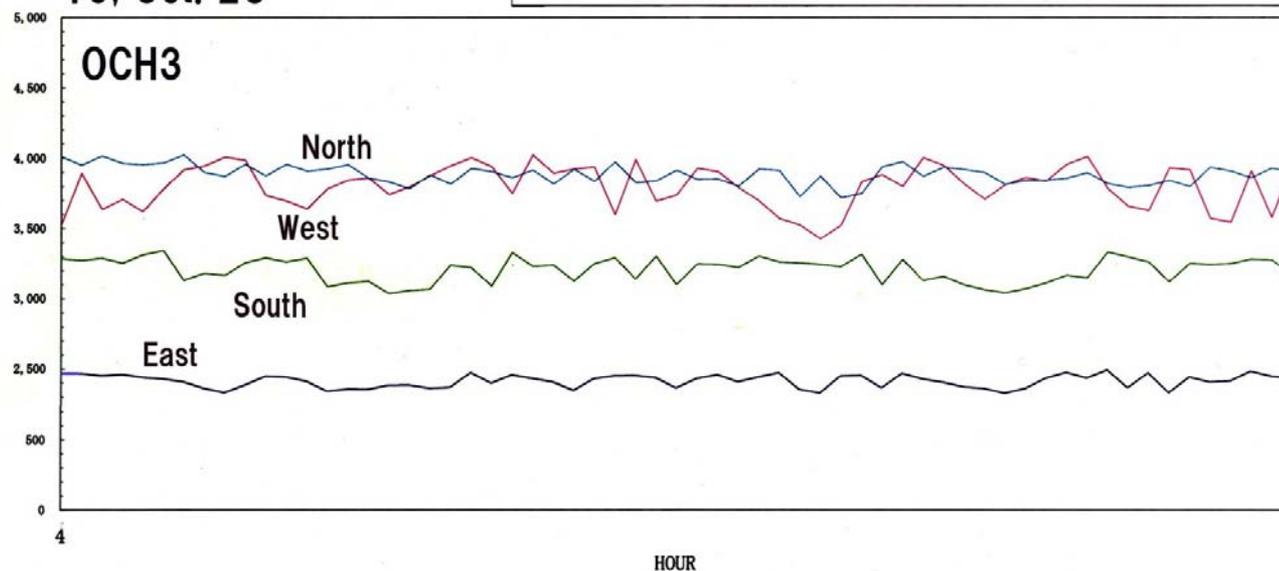
East — ch13    West — ch14    South — ch15    North — ch16



ブラシ状の変動を拡大すると位相は乱れている散乱体内で観測している可能性がある。

10, Oct. 26

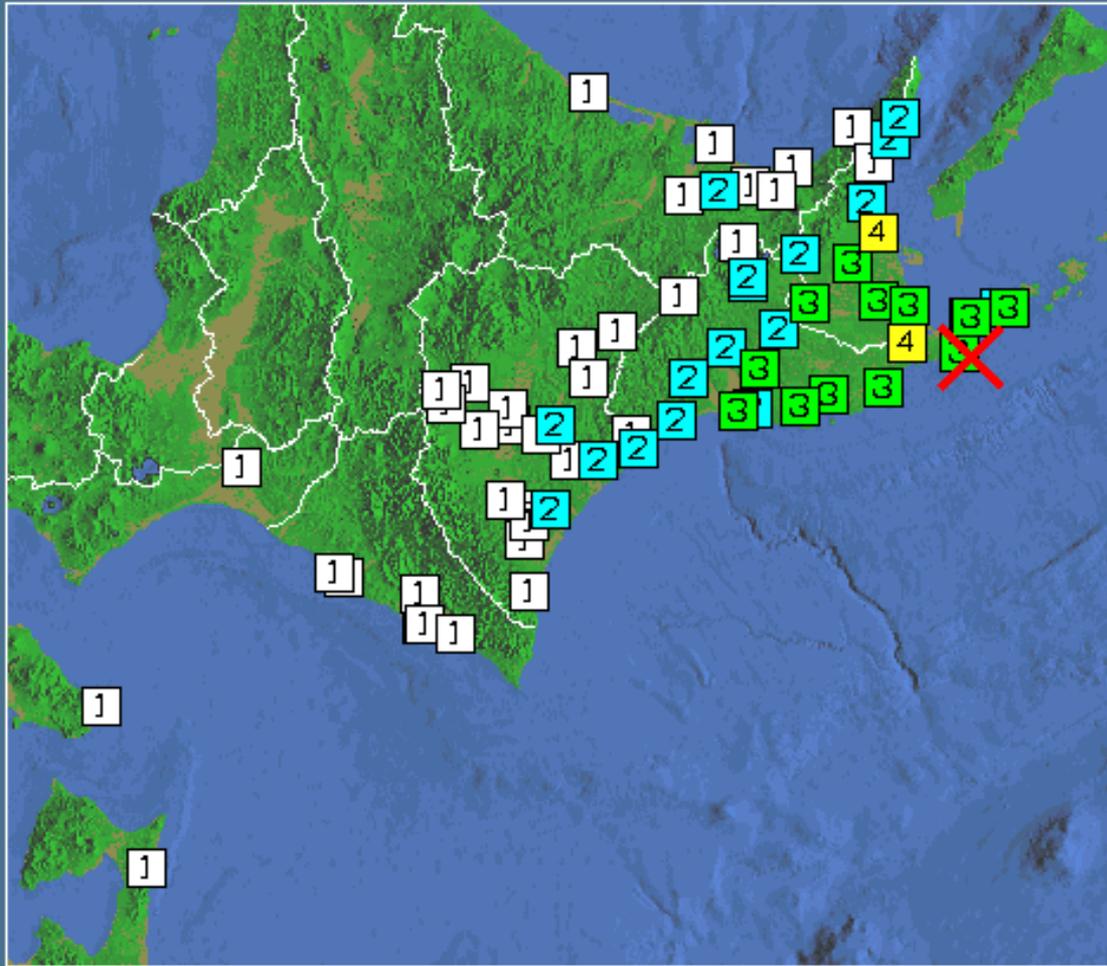
East — ch13    West — ch14    South — ch15    North — ch16



2010年11月19日13時01分 根室半島南東沖

100km

N= 70



この後、落石  
観測点直下で  
M4.8, 震度IV  
が発生した.

北緯43度10分 東経145度36分 深さ 53km M:4.8

# 2008年9月11日十勝沖地震 のドキュメント

7月17日からHSS－三石(64MHz)、浦河(FM)などに伝播異常が観測された。

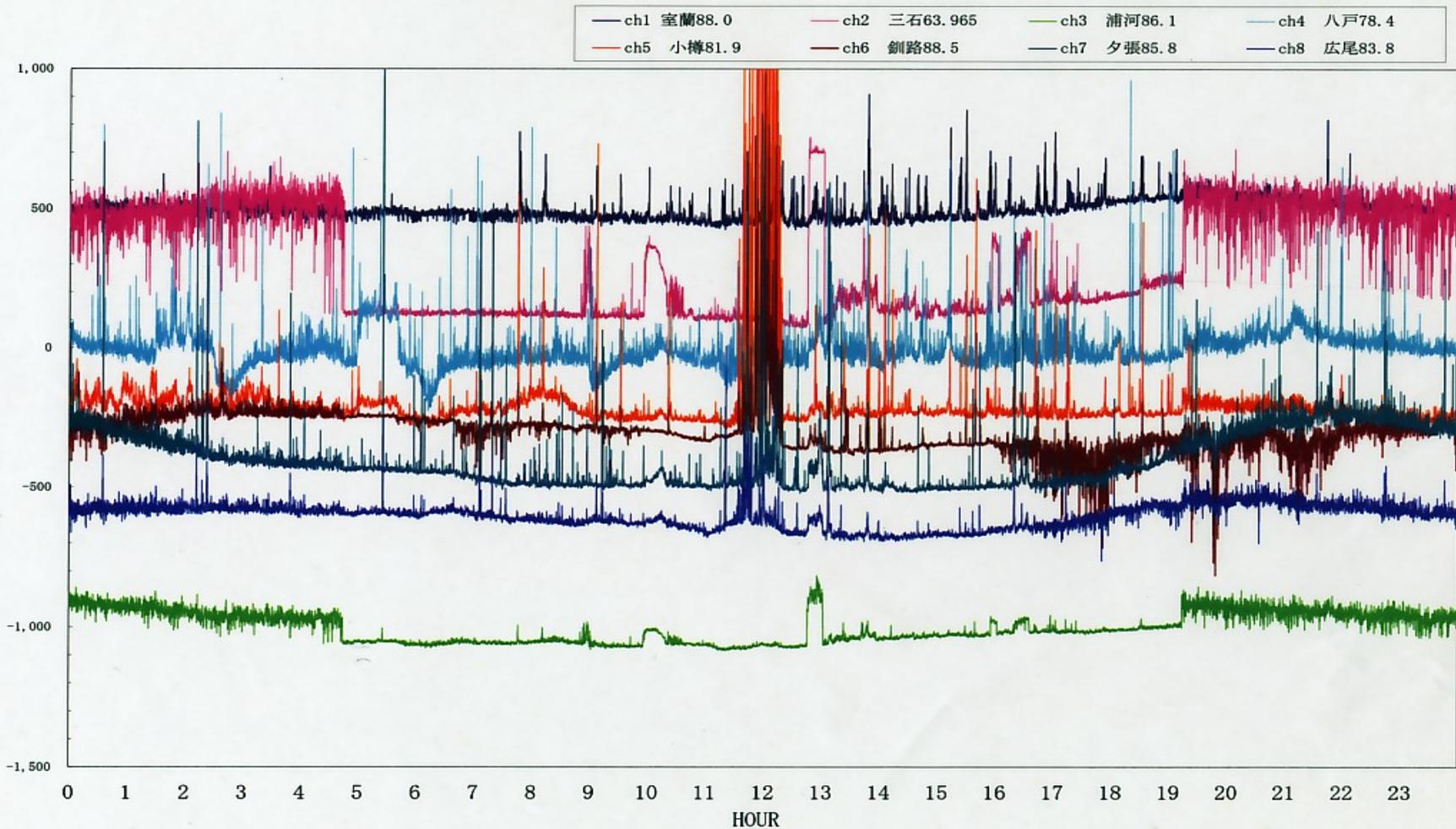
7月29日にSEMS研究会から異常が無いか問い合わせがあり、状況を発信した。何度か応答していると

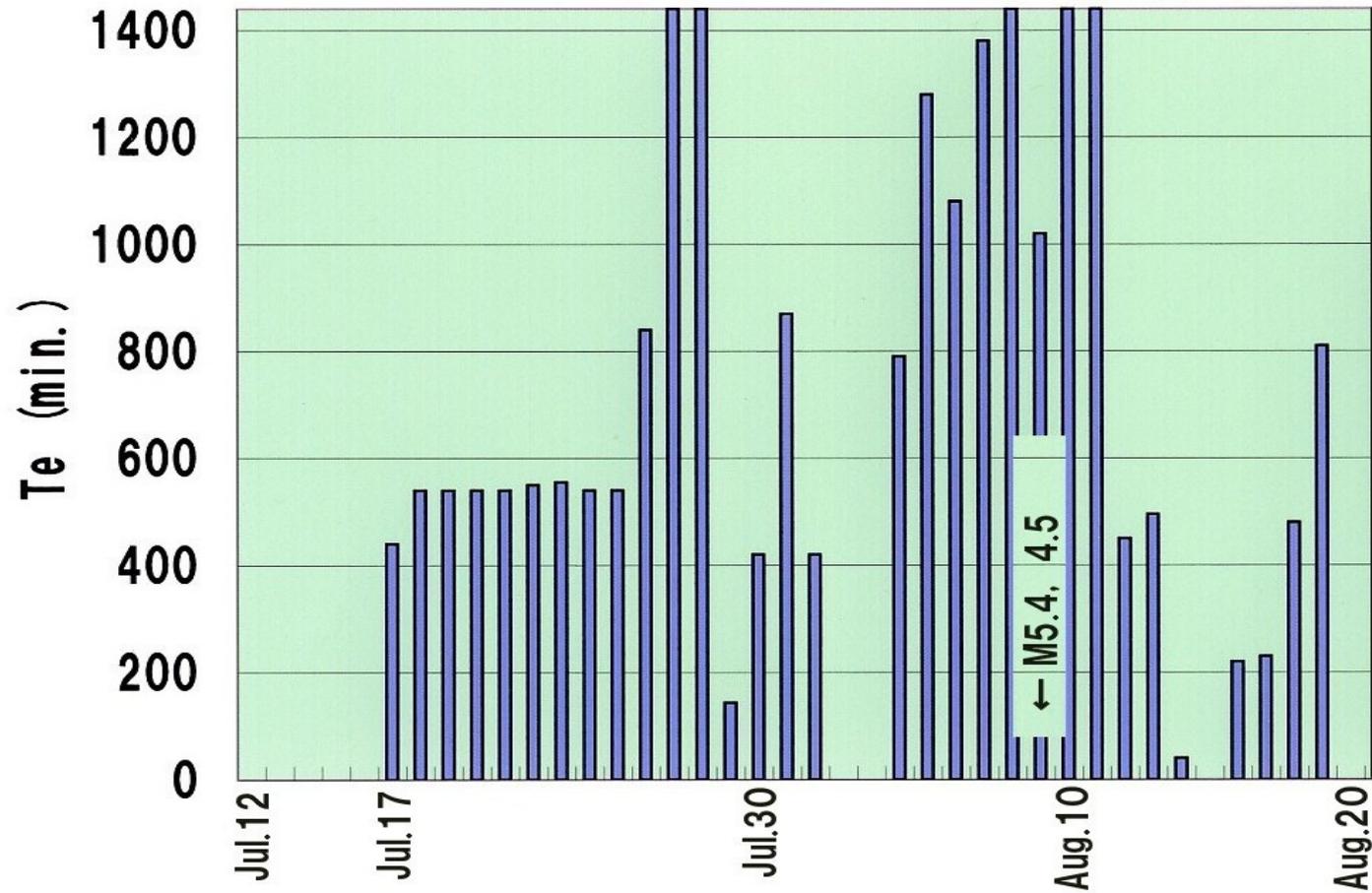
8月9日に青森東方沖でM5.4,さらに同日浦河沖でM4.5が発生した。これらの地震が該当するかどうか議論したが、さらに異常が続いていたので違うと決断。さらに大きい地震が起こると考えた。9月1日に異常は終わった。静穏期に入ったと判断。発生まで秒読み段階。

9月11日9時20分、十勝沖でM7.1が発生。予想より東にずれていた。

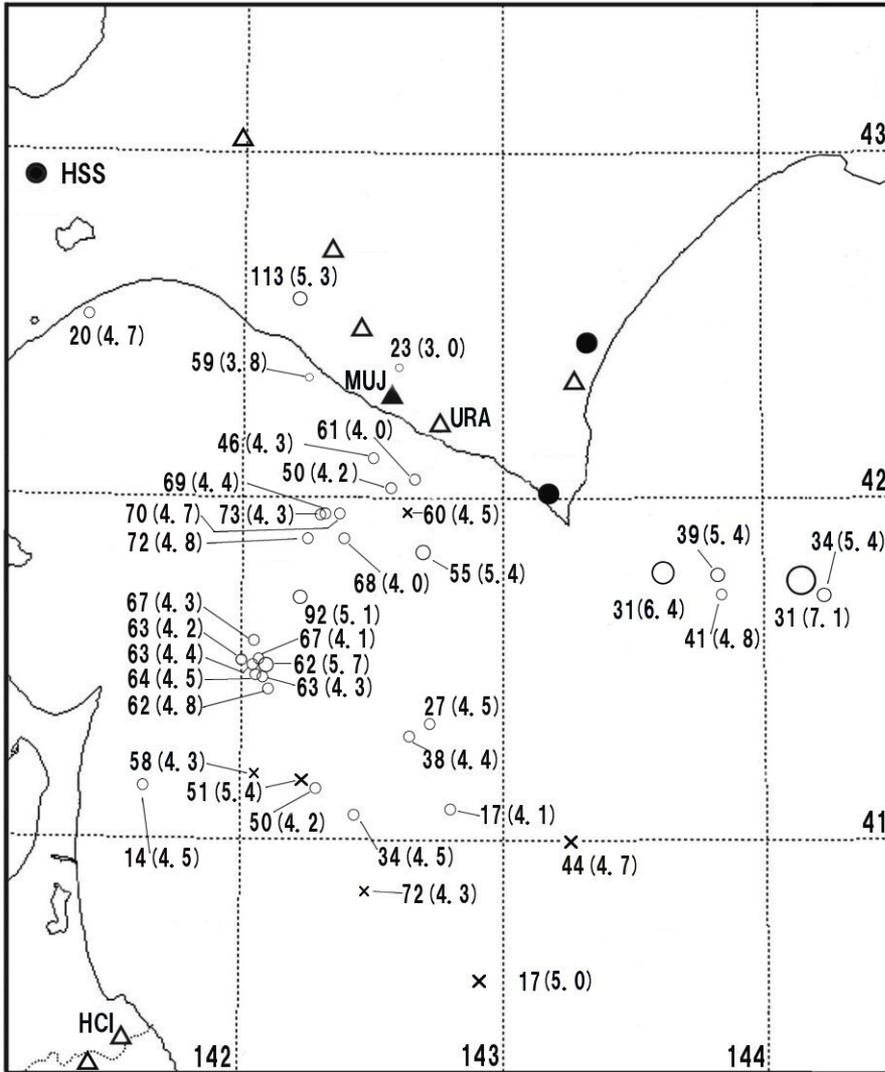
# HSS – MUJ, URA. 2008, Jul. 22

HSS-080722





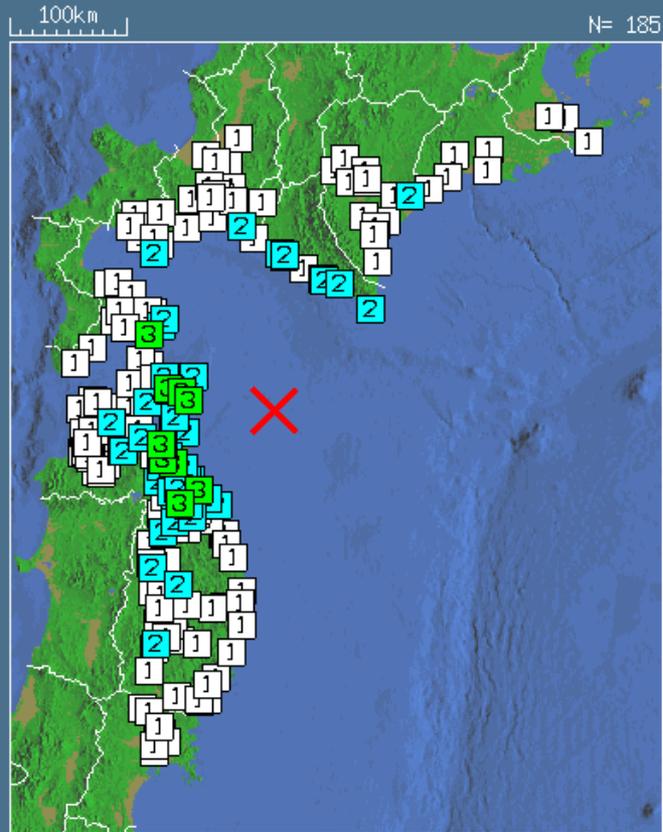
二つの地震発生後も異常伝播は発生し続けていた



07年10月以降起きた浦河沖~青森県東方沖の地震(M>4)と観測点 HSS, 浦河・八戸のFM局と三石64M発信点.

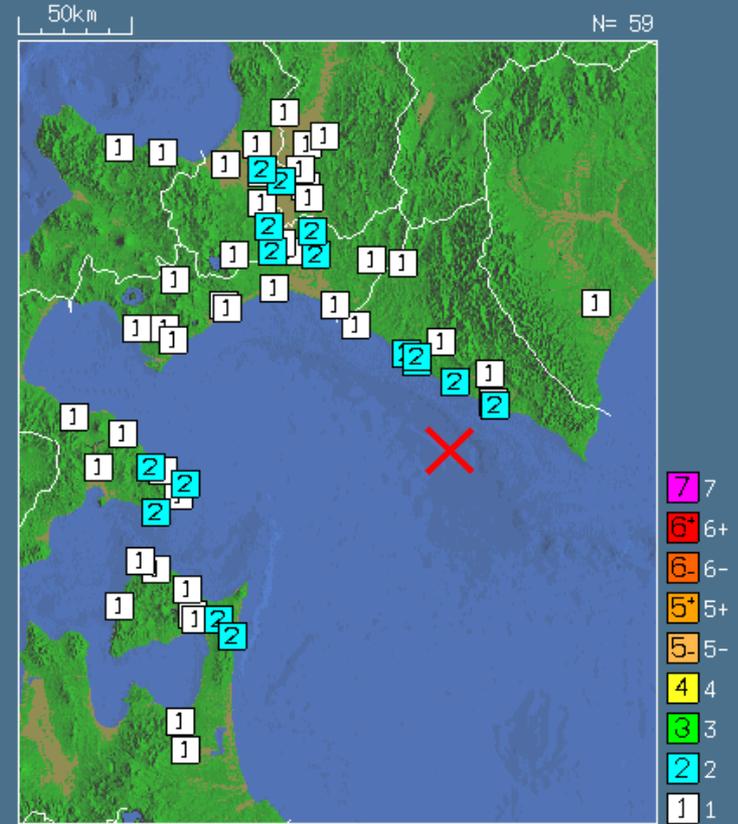
●は異常を観測した地震  
 ×は観測できなかった地震または他と時間的に重複した地震.

2008年08月09日00時53分 青森県東方沖



北緯41度09分 東経142度17分 深さ 51km M:5.4

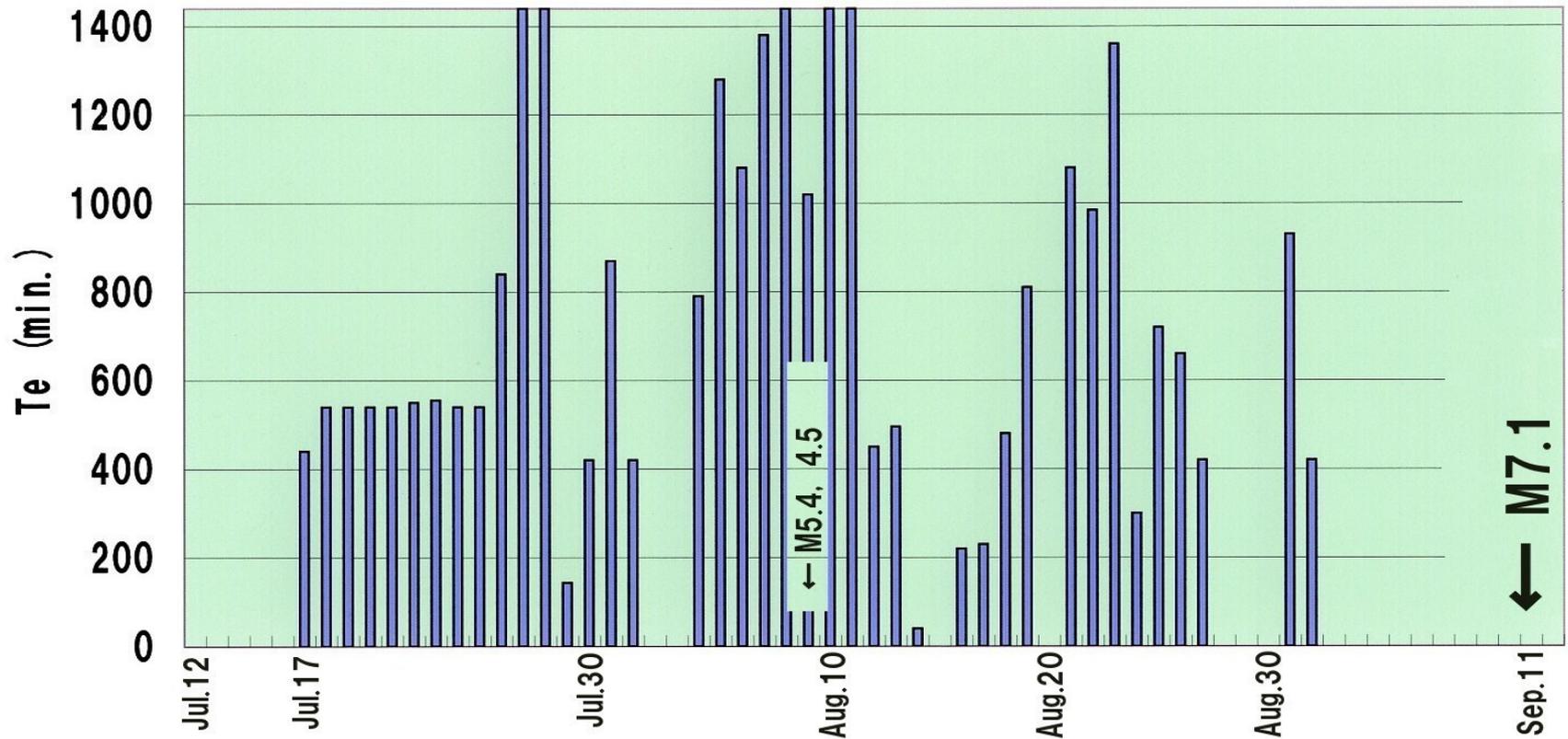
2008年08月09日09時54分 浦河沖



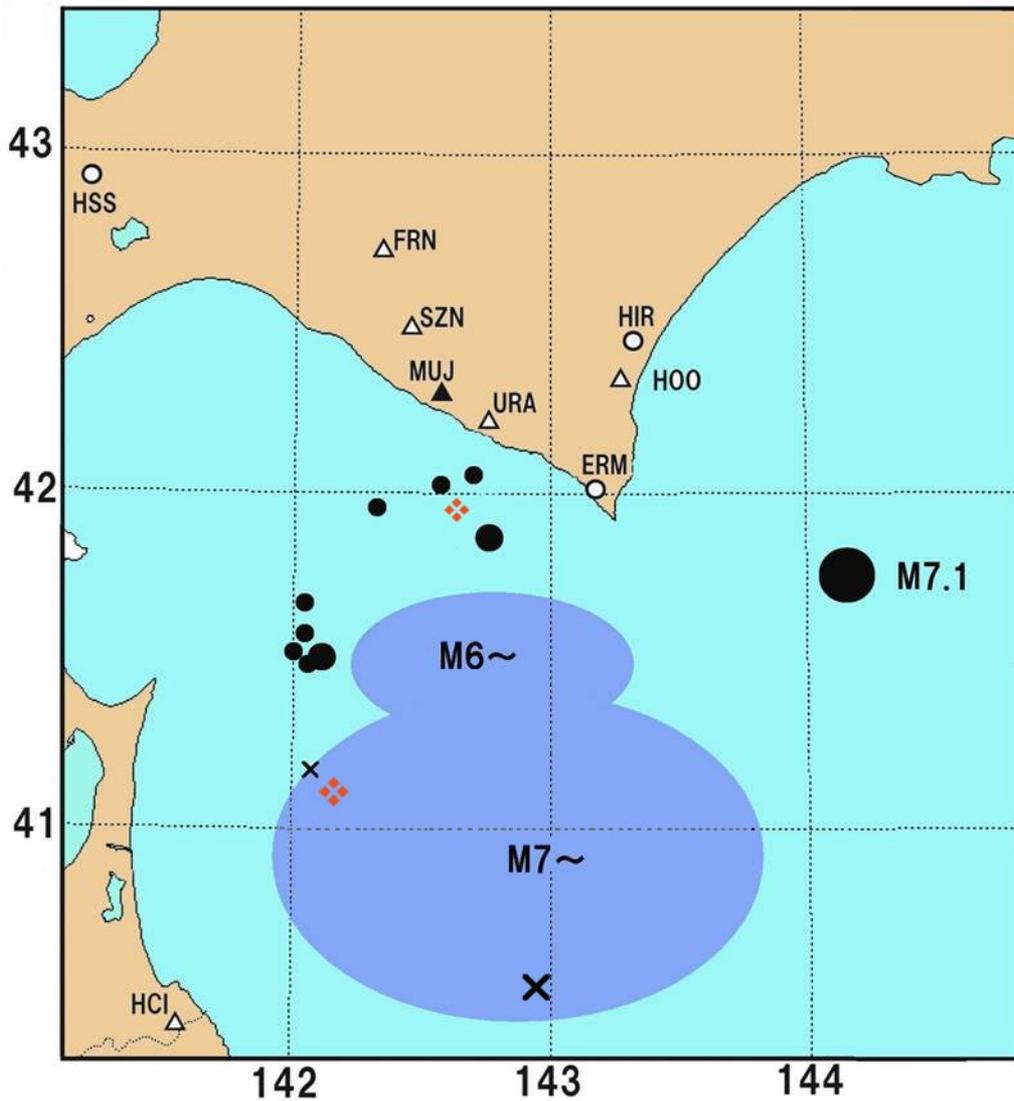
北緯41度58分 東経142度32分 深さ 65km M:4.5

8月9日に想定域内に発生した二つの地震  
(M5.4とM4.5)これらは予想よりも小さい。

# Temporal Variation of Te (HSS) from July 12 to Sep. 12



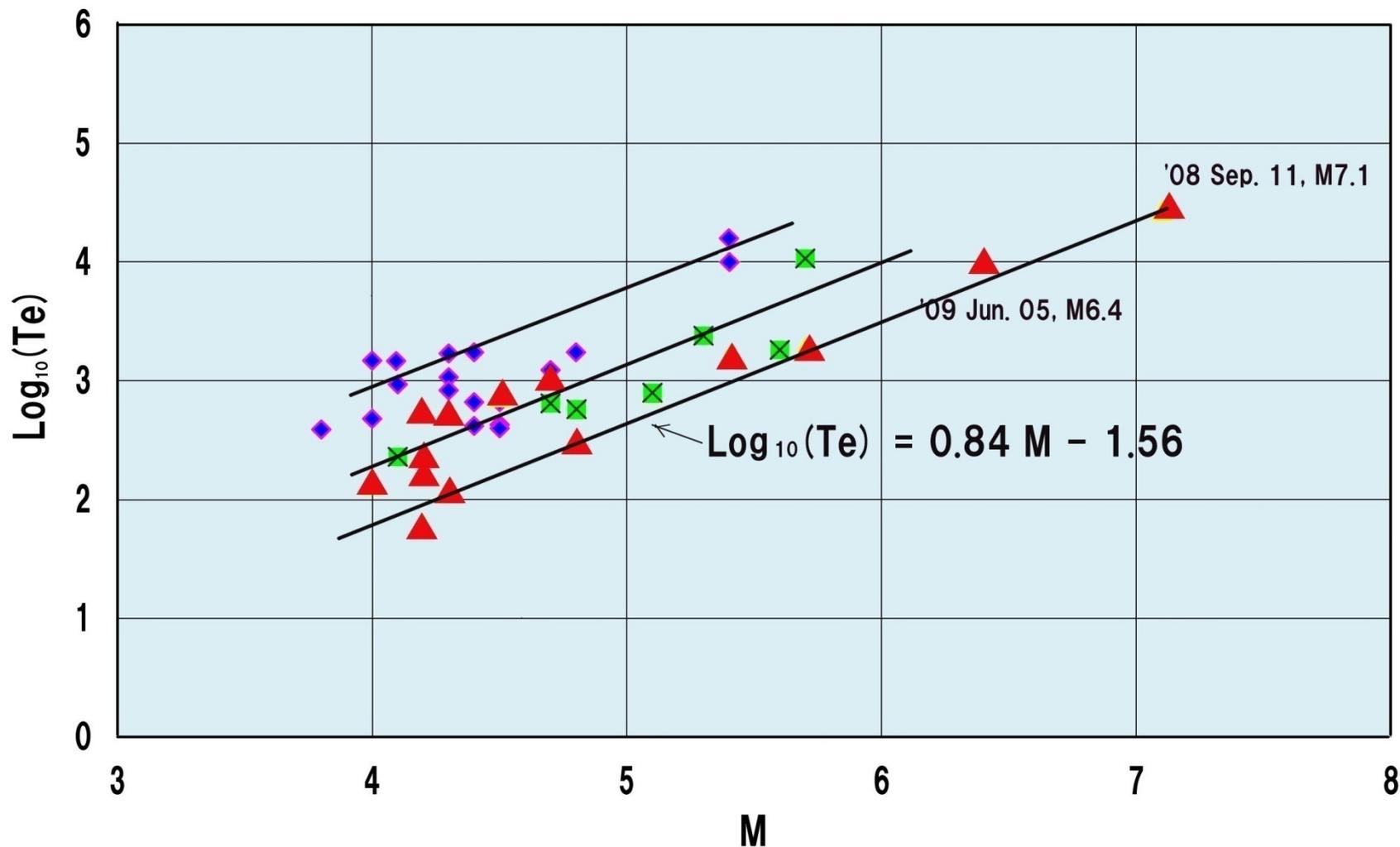
9月1日以降, 25日まで異常伝播は発生していない.



HSS-MUJ,URA  
 の異常はすべて  
 浦河沖-青森沖の  
 地震に限られて  
 いた. なぜERM,  
 HIR,に異常伝播  
 が発生しなかつ  
 たのか？

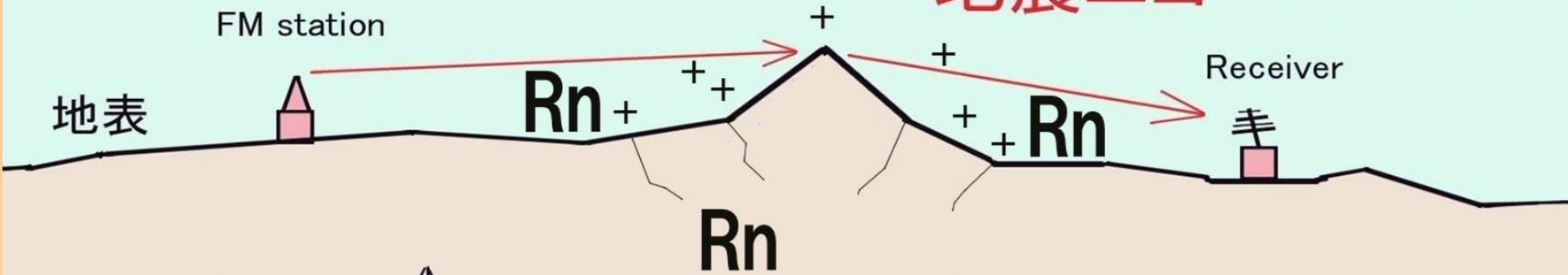
地震エコーの総継続時間 $T_e$ の対数と $M$ との間に成立する経験則  
内陸域・沿岸域・外洋域に分けられる。

$M \sim T_e$  (HSS - MUJ, URA)



ダクト伝播 Duct propagation  
山岳回折波 Mts. diffraction  
**地震エコー EQ-echo**

エアロゾルが正電荷を持つ



**震源**

Increment of stress, temperature,  
and electric current

# 地震予報を目指して

場所：放送局の近く，サービスエリア内

大きさ：最大震度が予測可能

時間：決定できない．今すぐ起こる確率が高い

海域は難しい

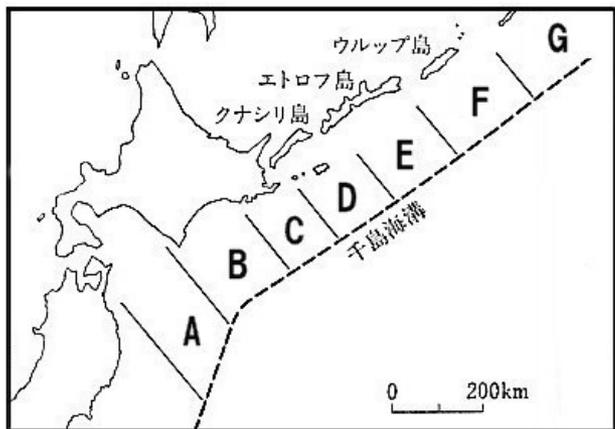
地震予知は天気予報にならって

「地震予報」とすべき

「雨の降る確率」「地震の起こる確率」

長・中期予測も重要

南千島が活動的時期に入った．



南千島-北日本沖の震源域

南千島-北日本の大地震

A	B	C	D	E	F	G	期 間
1763 M7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		不		明		1780 M8	17 年
休 止 期 間							59
1856 M7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	(1839) M7.3	←1843→ M8.4		不		明	17
休 止 期 間							37
#	←1894 M7.9		1893 M>7.5		(1918)* M7.8	1918 M7.9	25
休 止 期 間							34
1968 M7.9	1952 M8.1	(1973) M7.4	1969 M7.8	1958 M8.0	1963 M8.1		21
休 止 期 間							30
2003 M8.0						2007 M7.9	

# 三陸沖地震(1896)がかかる。\* F領域かも知れない。

# 大地震の縄張り と空白域

1973年根室沖地震  
はこのように  
予測された

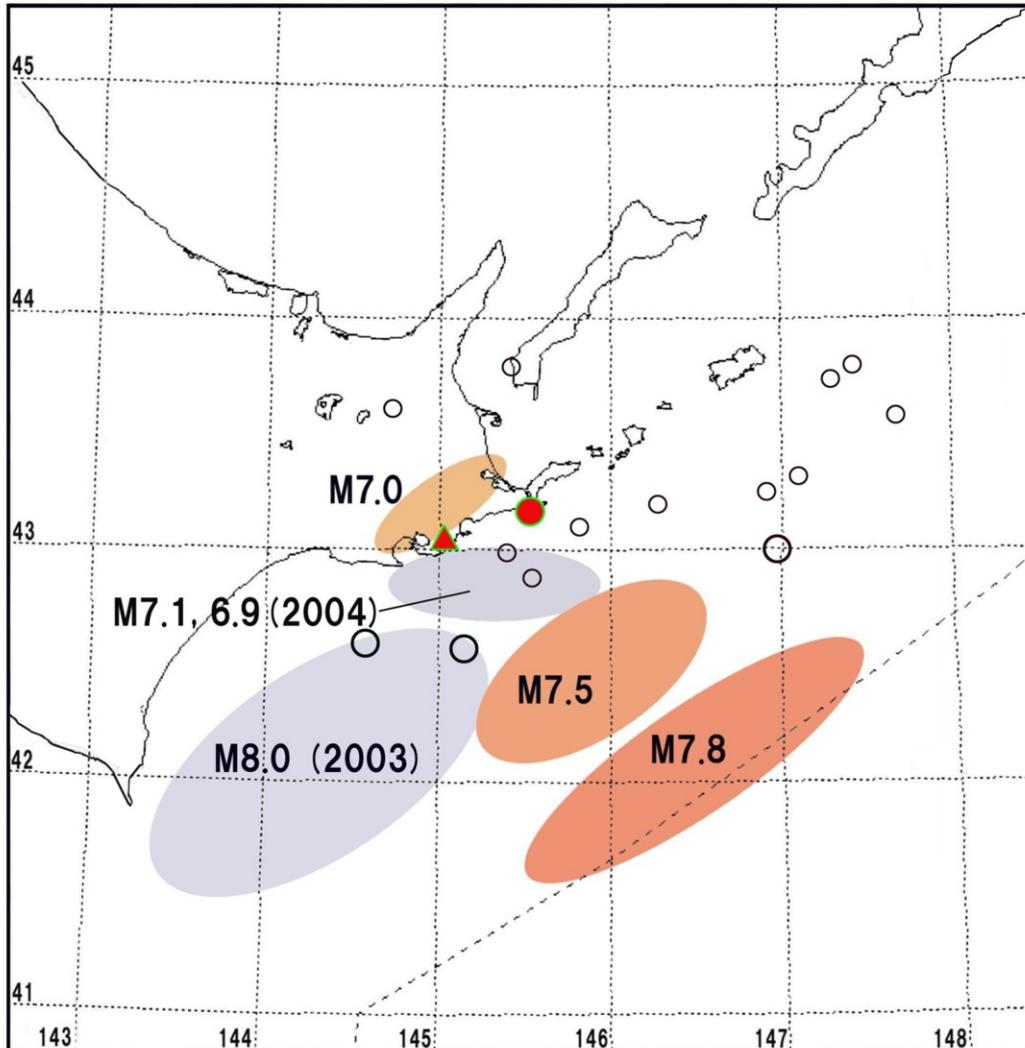
北海道海岸の沈降は  
継続している



将来の巨大津波地震？

2003年から活動期に  
入った。

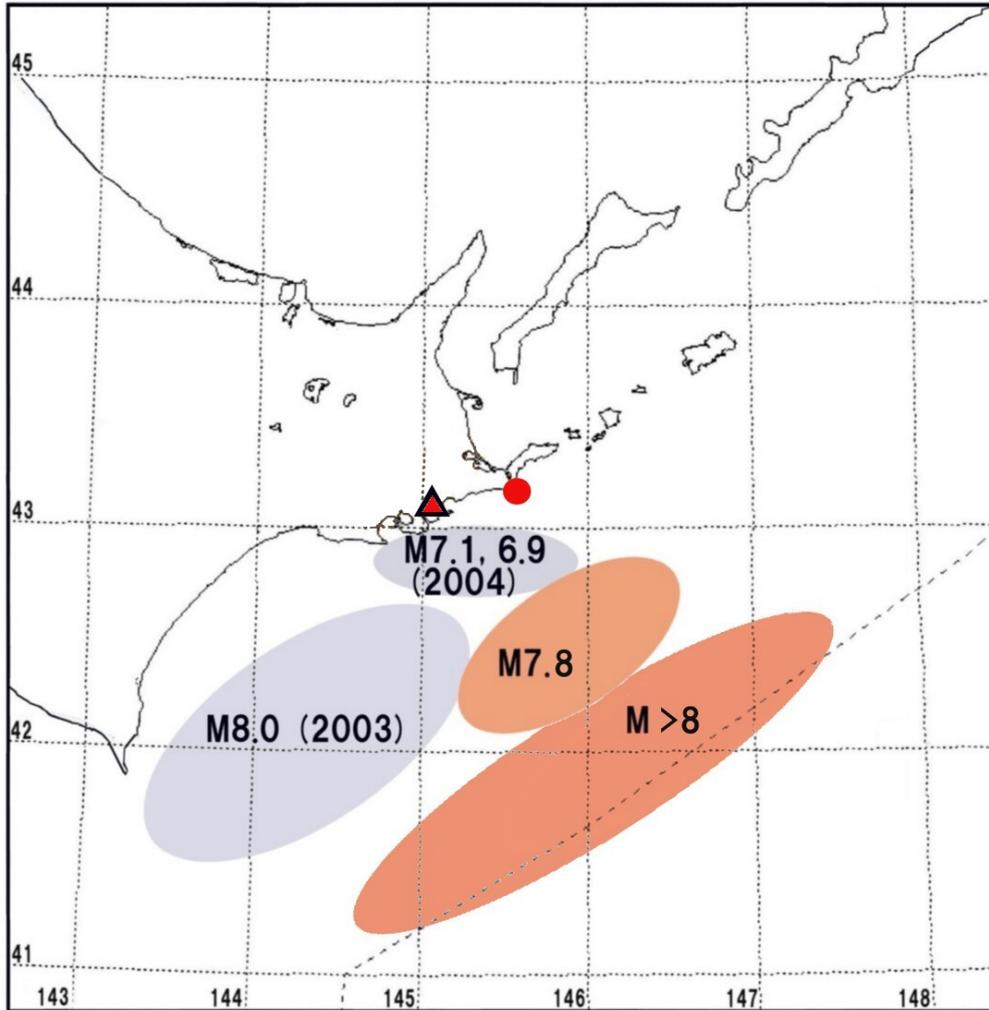
## 2009年時点で予想された震央域(茶色)



地震エコー発生中に  
起きた地震 (M>4)  
小丸がM4, 大丸が  
M5クラス.

灰色の領域はすでに  
起きてしまった領域  
(03, 04年)

# 2011年3月現在の予想



根室南東沖では  
静穏化が顕著  
になっている。

地震エコーは継続  
している。

# 根室沖の海溝付近には広い空白域がある

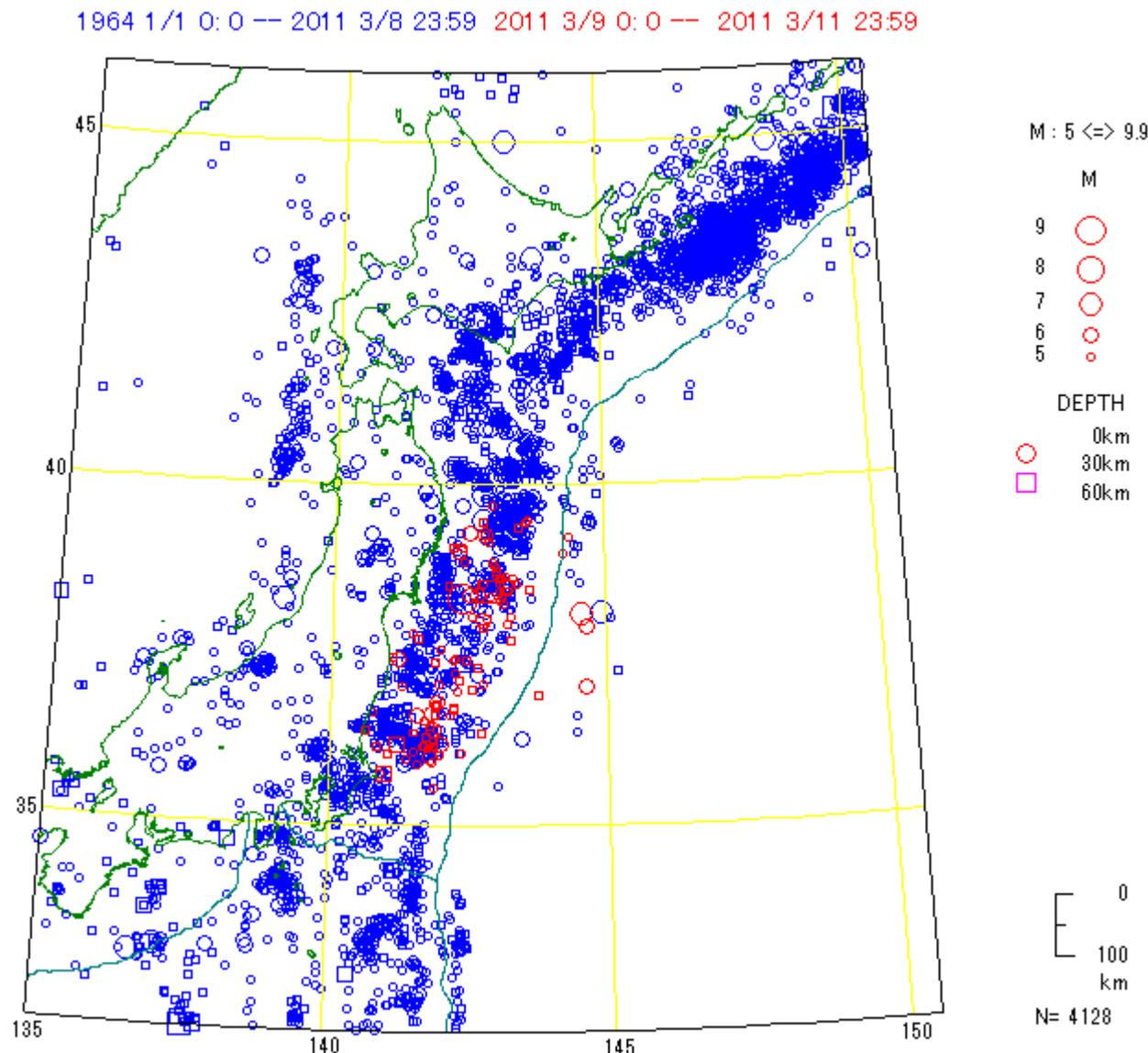


Figure after Ishikawa

# 実学的地震予報の目的は

大地震は予知しようとしまいと起こる

人的被害を最小にする

防災意識を高揚する

情報の伝達

> 両方の進展

震度7に耐えうる建築物 免震構造

(病院, 学校, 集会所, 老人ホーム・・・)

+避難所+防災用品・・・

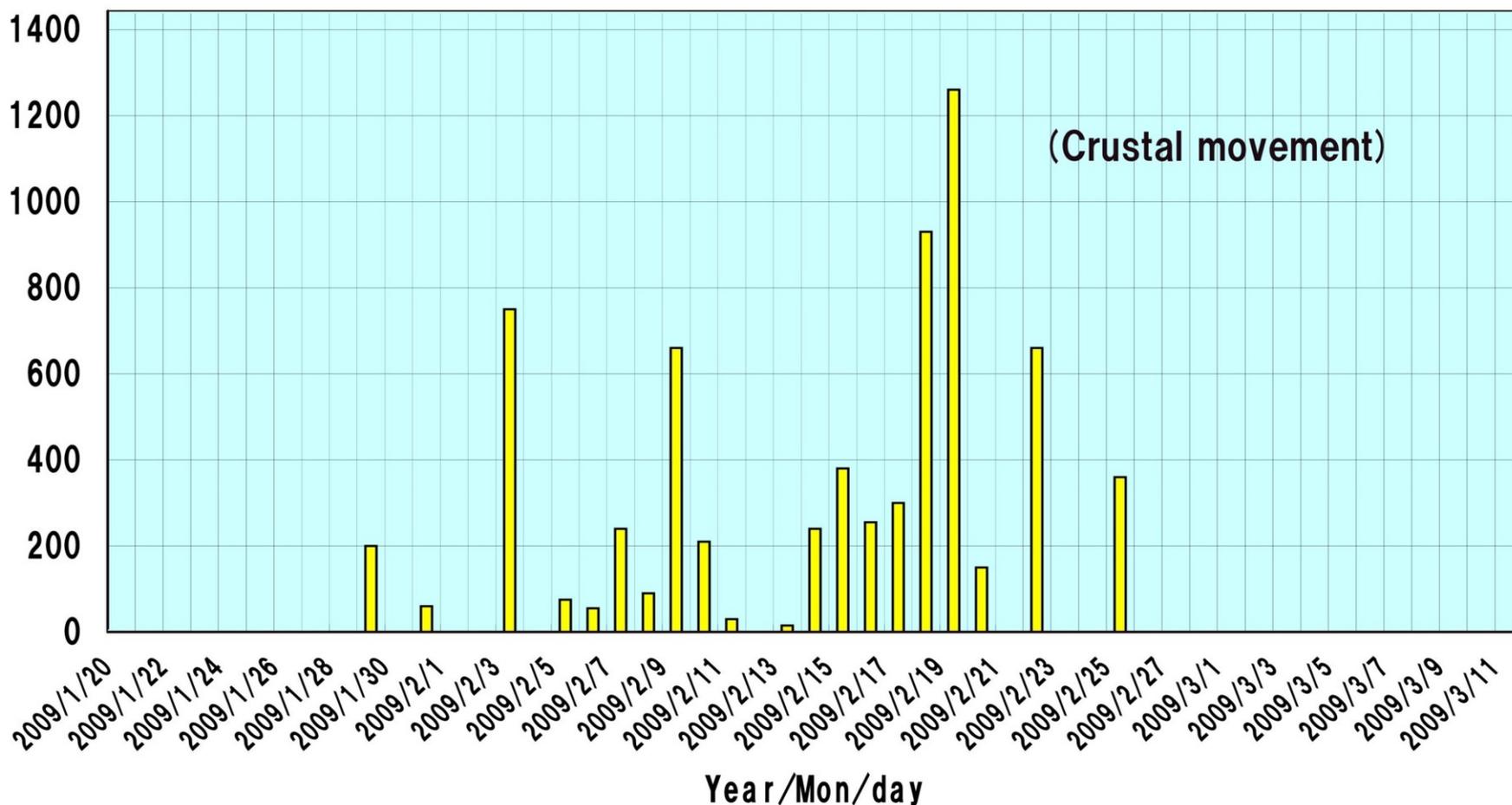
防災学(と環境学)は学際的横断的「地域の科学」



# 火山活動に伴って地震エコーが観測された

2009年2月に弟子屈で観測された雌阿寒岳の活動に伴うと推測される散乱波. 最大で6cmの隆起が観測された.

Te (TES - OBI, ASY)



Path 394

2008/06/25 - 2009/06/28

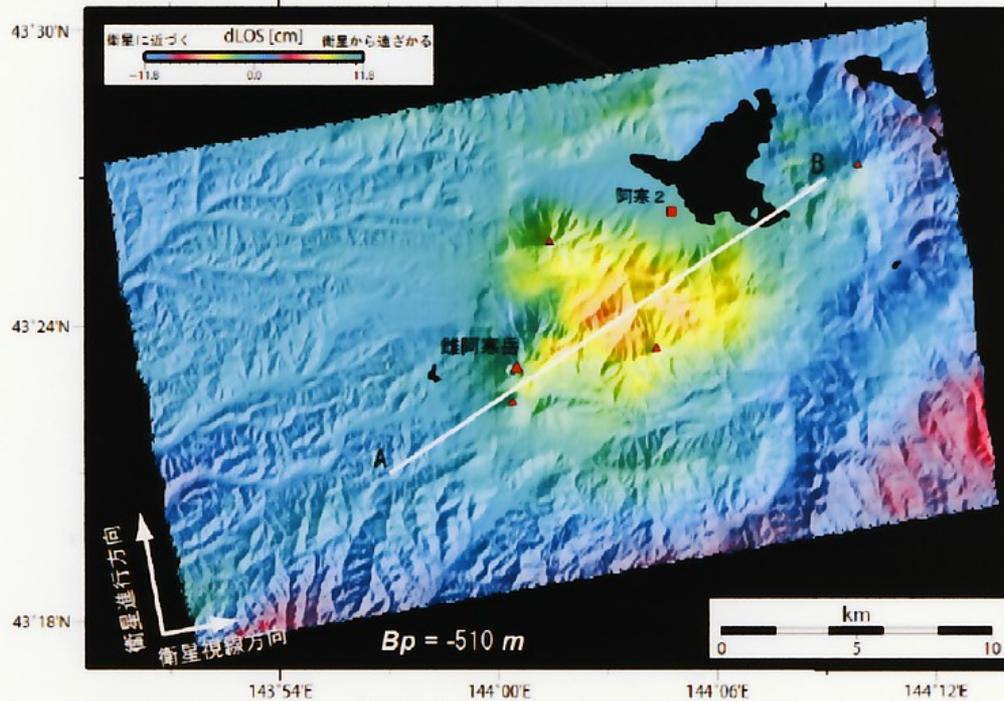


図1 2008/6/25と2009/6/28に観測されたSARデータを用いた干渉図。Path394（上昇軌道）のデータを使用。地形縞の除去には国土地理院50m数値地図を使用した。

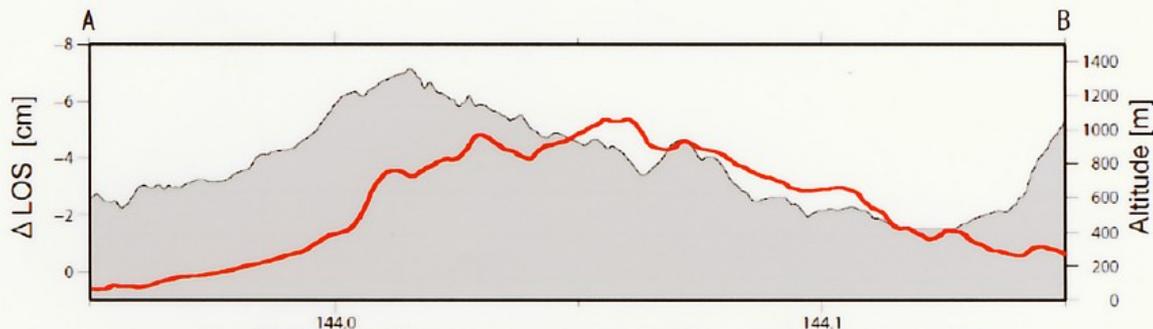


図2 衛星視線方向距離の変化量の断面（赤線）。灰色部は地形の断面図。

謝辞：本研究で用いたPALSARデータは火山噴火予知連絡会・衛星解析グループから、宇宙航空研究開発機構(JAXA)との共同研究契約によりJAXAから提供されたものです。PALSARデータの所有権は経済産業省およびJAXAにあります。

雌阿寒岳東方の地殻変動。  
合成開口レーダーによる測定で最大で約6cmの隆起が発見された。

## 雨の降る確率

明日予想される気圧配置が過去100回あった.  
そして雨(=1時間に1mm以上)が50回降った

=50%

例

## 地震の起こる確率

今の異常は過去100回あった.

震度5は10回, 4は90回あった.

=震度5が起こる確率10%, 4は90%

火山噴火の過程との違い

# 「前兆が無い」の意味は？ 四つの組み合わせ

前兆あり  
地震あり

的中

前兆なし  
地震あり

不意打ち  
小地震限界

前兆あり  
地震なし

空振り  
地震直前

前兆なし  
地震なし

安全宣言