



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	LF・VLF帯における地震の前兆的電磁波ノイズを観測するための装置
Author(s)	森谷, 武男; MORIYA, Takeo
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 60, 61-75
Issue Date	1997-03-31
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.60.61">https://doi.org/10.14943/gbhu.60.61</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14249">https://hdl.handle.net/2115/14249</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	60_p61-75.pdf



## LF・VLF帯における地震の前兆的 電磁波ノイズを観測するための装置

森 谷 武 男

北海道大学理学研究科地球惑星科学専攻

(1996年12月25日受理)

### **Design of the Receiver for Observation of the Electromagnetic Wave Noise as a Precursor of Earthquake**

Takeo MORIYA

Division of Earth and Planetary Sciences,

Graduate school of Science, Hokkaido University

(Received December 25, 1996)

The Receiver for observation of electromagnetic wave noise(EN) which has been increasing as a precursors of earthquakes, is designed. A high impedance electric field antenna with a metal umbrella was used for the sensor. A pass band of the filter was set to be from 4 kHz to 40 kHz. The signal which is passed through the EN discriminator is led to a binary counter with a D/A converter. Finally, the hourly numbers of EN are converted to analogue voltages.

A tentative observation of EN was continued from February, 1995 to October, 1996. Relation between EN activity and seismic activity was probed. Back ground EN activities seemed to be occurred by the air disturbance and to related to the weather near the observing site. When back ground EN activity was low, a few days before several earthquakes whose magnitude exceeds about 6, EN activity became high and returned gradually. Before the earthquake of Tokachi-oki(M5.8), which occurred on Oct. 26, 1995, and of southern Kurile Is. (M7.2) which occurred on Dec. 04, 1995, EN activities were increased. However, before small earthquake of Sapporo city(M3.2), which occurred on Apr. 12, 1995, 7 km distant from the observation site, no temporary changes of EN activities was observed.

Before small eruption of Komagatake Volcano which is situated about 130 km from the observing site, so remarkable intermittent EN activities were appeared, that the author thought the electric circuit was troubled. The instrument, however, was normal and the volcano erupted.

Through the observation, electromagnetic wave noise emissions before earthquakes and eruptions of the volcanos, those were pointed out by many authors, were confirmed. It is the problem to eliminate back ground EN activity and to improve the S/N ratio by changing the configuration of the antenna.

## I. ま え が き

最近、大地震発生の数日前にL F帯, V L F帯の電磁波ノイズが増加することが報告されてきた(例えば, Gokhberg et al., 1982, 尾池・小川, 1982, Oike and Ogawa, 1986, 芳野, 1993). これには地震発生数日前からノイズの増加がゆっくり始まり, 地震発生と同時に終了するという特徴がある.

尾池・小川(1982)によれば1982年浦河沖地震[M(マグニチュード)7.1]の前日にE L F帯に異常なノイズの増加を記録した. 観測点から500 km以内のM 6以上の震源の浅い地震では, ほとんどの場合に前兆的ノイズの発生が認められた(Oike and Ogawa, 1986). Fujinawa and Takahashi(1990)は1989年6月から7月にかけての伊豆半島沖の群発地震および手石海丘を生成した噴火活動に対して, 明瞭で断続的な電磁波放射を観測した. この電磁波ノイズは事前にゆっくり増加するのではなく, 数時間続いては止まり, 再び発生することを繰り返した. また1995年兵庫県南部地震(M 7.1)の発生数時間前から電磁波ノイズの増加が観測された(例えば, 山田・尾池, 1995). 芳野(1996)は中波放送帯域でのノイズの顕著な増加現象を聞き取り調査によって確かめた. 出現するノイズの強度(単位時間当たりの個数)と地震のMとの間には, ほぼ比例関係が認められ(Oike and Ogawa, 1986), また前兆となった地震のMと観測点からの距離もほぼ比例関係が認められている(芳野, 1993). しかしなぜこのような現象が現れるのか, よくわかっていない.

電磁波ノイズ(以下E Nと記す)が地震発生の前兆現象であれば, 地震を予知する上でE Nは非常に有力な情報である. しかし地殻に歪が蓄積され, どのような物理過程をたどって破壊に至り, 地震となるのか, その間にどのような物理現象が発生するか, 説明する理論やモデルはない. 実際に観測が大がかりに行われている地震活動や地殻変動の分野ですら, 地震発生直前のモデルや大地震発生から次の大地震までの1サイクルの間でどのようにそれらが変化するのか, 理論やモデルはない. 震源核生成の理論(例えば Ohnaka, 1992, Matsu'ura et al., 1992)からも, このような電磁波が発生することは考えられてはいない. 岩石破壊の実験によれば, 破壊の際に発光現象が観測されている(Maeda, 1986). また電磁波も発生することが確認されている(Yamada et al., 1989). しかし破壊の前兆として電磁波放射の存在が, 実験的に確認されているわけではない. もしも地震に先行する微小破壊が電磁波を発生したとしても, どのように電場・磁場が地下深部から大気中へ伝播して電磁波が放射されるのか, そのメカニズムは不明である. 芳野(1993)は1986年伊豆大島の三原山噴火に伴って観測されたE N活動は, マグマの移動によって岩石の破壊

が起り、これが原因で電磁波が発生したことが原因であって、磁場による地下と大気とのカップリングによって大気から電磁波放射が起こったと考えている。

現在、地震発生と電磁波ノイズとの関係に関する研究は主に電磁波の研究者によって行われているが、組織的な態勢で観測されてはいない。この現象が前兆なのか、前兆であれば地震活動とどのような統計的な関係があるのかをはっきりさせることが本質的な原因を追求するために重要である。そのためにはまず広域的で組織的な観測を行って、地下の異常がどのようなメカニズムで大気中から電磁波を放射するのかを、観測的に検証すること、それに基づいて地震発生の理論的モデルを構築する研究が重要である。

北海道の近くには地震活動の高い南千島があり、Mの大きい地震は他の日本各地よりは頻繁に起っている。また北海道は鉄道の電化されている地域が狭く、人工的なENが少ないと考えられるので自然のENの観測には適している。そこで簡単にL F帯・V L F帯のENを観測する装置を考案し、試験的な観測を行いながら改良を試みた。そしてこの現象に興味を抱く研究者が比較的安価に観測装置を作ることができることを目的とした。

## II. 電磁波ノイズの観測装置

### 1. 全体の構成

ENは、ちょうど微小地震のように不定期にパルス状に発生する。これを多くの観測点で連続観測して、その到着時刻の差からEN発生点を特定することは、地震発生の場所との関係を知る上で興味深い(高橋他, 1996)。しかしこのような業務的な観測は膨大な資金と人力を必要とするので、著者の目的には合わない。

著者は、まず装置1台当たり費用を安価にすることを考慮した。そしてEN発生頻度の空間的分布を把握するために、単位時間当たり発生回数を長期間にわたり、北海道内の5~6ヶ所のテレメータ観測することを目的とした。テレメータ観測点では、1秒1サンプルの地殻変動観測用に作られたチャンネルに、使用していないチャンネルがあるので、これを利用することを考えた。あるレベル以上の振幅のノイズ発生回数をD/A変換して毎時リセットすることにより、1時間当たりのノイズ回数がアナログ値で示される(Oike and Ogawa, 1986)。これは非常にゆっくりと変化する情報なので、1秒1サンプルのチャンネルでも十分な精度で、テレメータ伝送することができる。Fig. 1は回路図全体の構成を示す。本装置はアンテナ部、フィルター部および、パルス数計測部の三つの回路から成っている。

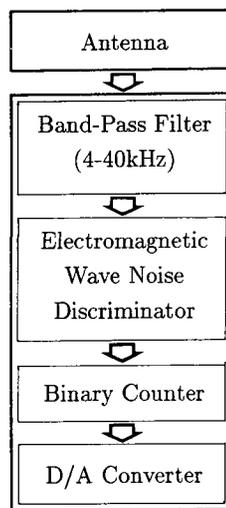


Fig. 1. Block diagram of the circuit to count electromagnetic wave noise (EN).

## 2. アンテナ

ENを受信するアンテナは、大気電場を測定する場合と同じである。空中に金属板（球）を置いて、非常に高い入力インピーダンスの増幅器を接続し、数100倍に増幅する。Ogawa et al., (1966)は金属球を用いて無指向性電場アンテナを作り、電磁波ノイズ観測を行った。著者は初めこの球型アンテナを用いたが、北海道では冬季に高圧に帯電した雪がアンテナに直接ふれ、増幅器を飽和させてしまうことがわかった。このためアンテナに雪が触れないように金属製の傘をのせ、アンテナそのものは円盤型とした。この方式では傘をアースに接続するため、アンテナの大地に対する容量が増え、感度が低下する。入力インピーダンスはいろいろな値を試みた。1 T ( $10^{12}$ )  $\Omega$  の大きい値では負に帯電した大気により負側に振り切れてしまうので200 G ( $2 \times 10^{11}$ )  $\Omega$  としてある。Fig. 2はアンテナの回路図である。バッファアンプ用ICには、CA 3130またはTL 061な

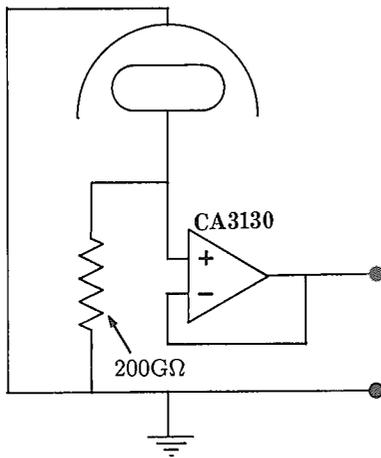


Fig. 2. Circuit diagram of the antenna.

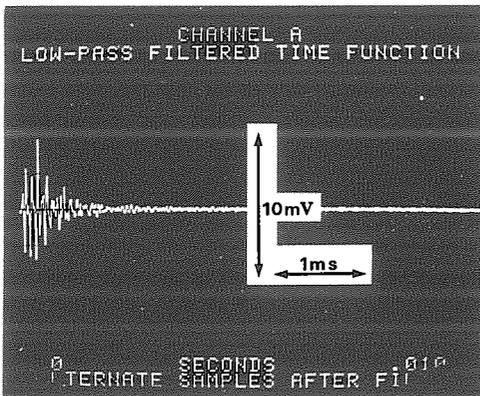


Fig. 4. An example of the wave form of EN.

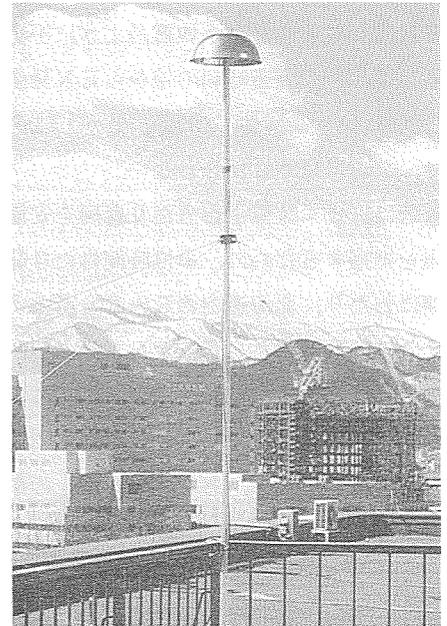


Fig. 3. A view of the antenna set on the roof of the building of the Division of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University.

どFET入力型を用いた, Fig. 3は傘付きアンテナの外観で傘の内部にバッファアンプが収納されている. アンテナで受信したENはシールドワイヤで観測室まで導かれ, フィルター回路に接続される. Fig. 4はEN波形の例である.

アンテナにはコイルを用いて電磁波を観測する方法も考えられる. コイルは共振周波数を持っており, 指向性を持っている. したがって3成分観測により電磁波の到来方向の情報を得ることができる. しかしQが高くなるために受信周波数帯域幅が非常に狭くなる. 著者はどの周波数帯域が最もENの観測に適しているかまだ十分に調査を行っていない. 将来, 観測帯域を変更することが考えられるので, コイル型アンテナは試験的な観測に用いられただけで採用されなかった.

### 3. 計測部 (フィルターおよび増幅・D/A変換部)

Fig. 5は計測部の回路図である. ENはバンドパスフィルターを通過して, それに含まれる商用電源から放射される50 Hzおよびその高調波や放送波が取り除かれる. フィルターの肩特性は8次のバターワース型である. 通過帯域は4-40 kHzであって, ENのスペクトルを観測して決定した. Fig. 6はEN波形をバンドパスフィルターを通さず, 直接スペクトラムアナライザーによって観測したスペクトルである. 一般に幅広いスペクトルを持っていて, 緩やかなピークが10 kHz付近にあることがわかった. Fig. 6のいくつかのピークは定常的な放送波である. フィルターの回路は特別なものではないので, 回路図は省略する.

次にENは増幅部で20-60 db程度増幅され, 両波整流される. この波形をエンベロープ化してペンレコーダでモニターすることができるように端子が設けてある. 両波整流された波形はコン

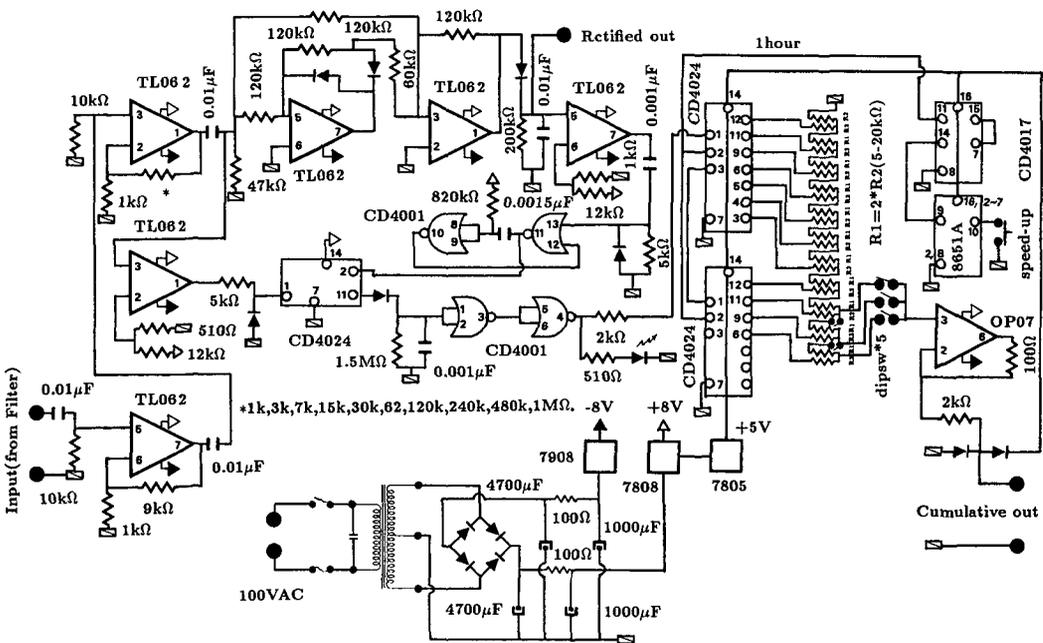


Fig. 5. Circuit diagram of EN counter.

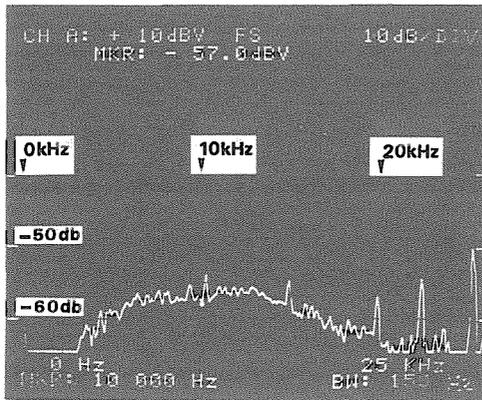


Fig. 6. FFT spectrum of EN on a display calculated by a spectrum analyzer. Several peaks, caused by broadcasting stations, are observed continuously, however those are eliminated by the counter circuit.

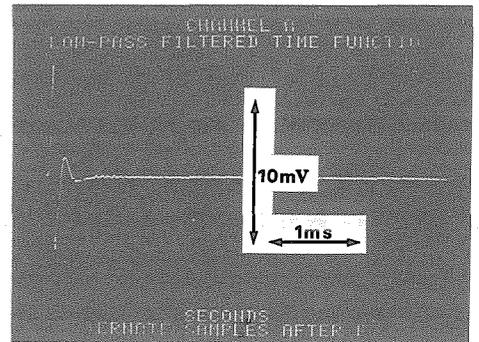


Fig. 7. An example of the wave form made by intermittent actions of the power switch of the electric instrument which have an inductance load.

パレータに導かれ一定電圧以上ならば、EN判別回路で真のENか、他の人工的なノイズか判別される。ノイズの代表的なものは、蛍光灯やモーターなど、インダクタンス負荷の電気器具のスイッチの断続によって発生する単純なパルスノイズである (Fig. 7)。EN判別回路では、入力波形が一定時間 (約 1 ms) 以内に 8 回以上のパルスを連続させていなければ、パルスは出力されない。8 回以上ならば EN と判断されて 1 個のパルスに変換される。このあと多段 2 進カウンタへ接続され梯子型接続の抵抗によって 2 進数が電圧のアナログ値へ変換される。2 進カウンタの段数は 10 (最大カウント数 1023 個) に設定してあるが、11 段 (2047 個) から 12 段 (4095 個) までディップスイッチで変更可能である。1023 個カウントすると 5 ボルト (厳密には 5 ボルトよりも 5 ミリボルト低い) の電圧が得られる。2 進カウンタは 1 時間に一度リセットされ、出力電圧は 0 ボルトにもどる。もしも EN の発生数が多く 1 時間以内に 1023 個を越えたときは 5 ボルトから 0 ボルトにもどる。このアナログ波形をペンレコーダやデータロガー、あるいはテレメータ入力端子に導き記録させる。

アンテナ、フィルターおよび計測部の電子回路はプリント基盤化されており、計測部は小型軽量 (約 2 kg) である。組立に必要な費用はアンテナポールを含めて約 4 万円以下である。

### III. 北海道大学における試験的な観測

著者は 1995 年、アンテナを北海道大学理学研究科の 3 号館の屋上に設置し、計測部とレコーダは同 2 階の実験室に置いて、試験的な連続観測を行ってきた。EN には振幅が異なるものがあるので、地震のように規模別度数分布を調べて、感度と度数の関係を調べた。Fig. 8 には増幅回路の利得が 2 倍ずつ異なる 6 台の観測装置を用いて、約 12 時間に同時に観測された EN の数を示して

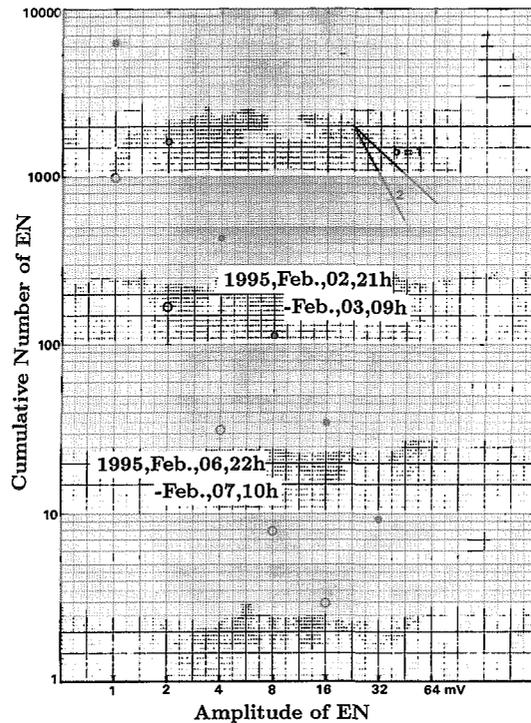


Fig. 8. Relation between frequency and amplitudes of EN. A similar relation as Ishimoto-Iida's and Gutenberg-Richter's formulas, between frequency and magnitudes of earthquakes is formed. The "b" value is estimated to be about 2.0.

ある。地震の規模別度数分布を表す石本・飯田の式あるいはグーテンベルグ・リヒターの式と同じ関係式が成り立つように見える。Fig. 8の関係から、いわゆるb値は約2.0となることがわかる。他の時間にも同様の調査を行ったが、ほとんど同じ値が得られた。これは2倍の感度増加は4倍のEN数の変化をもたらすことになる。実際の感度は、増幅回路の利得だけでなく、アンテナの高さや、大地の比抵抗などにも影響されると考えられるので、観測地点での増幅回路の利得は機械的には決められず、現場での微調整が必要であろう。北大での観測では、増幅ゲインは54 dbに設定された。

#### IV. EN数の変動と地震・火山活動との関係

通常のENの活動はほとんどが大気の擾乱によって生じていると考えられている (Ogawa et al., 1966)。今回観測されたENの活動は6時間から10時間前後の周期で消長を繰り返している。著者は毎日モニター記録を監視して観測されるEN回数変動と、地震活動との関係を調べた。

1995年2月から1996年11月までの北大で行った観測中に北海道内もしくは周辺で起こった

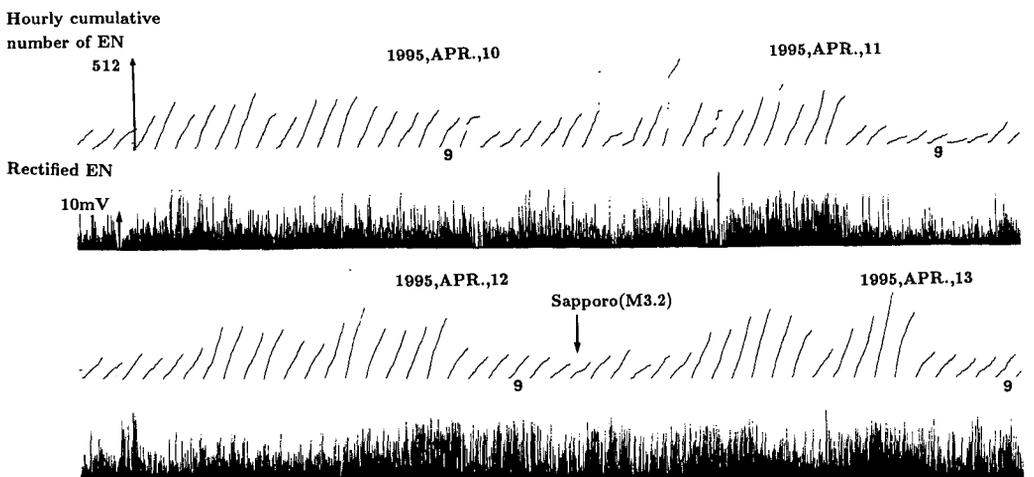
M (気象庁の決定による) 6 程度ないしそれ以上, あるいは観測点近傍の地震は第 1 表に示すように, 11 回起こった。また 1996 年 3 月 5 日には北海道駒ヶ岳が 54 年ぶりに小規模な噴火を起こした。

Fig. 9 には 1995 年 4 月 10 日から同 13 日までの EN 数の変動を示してある。12 日 12 時 04 分に M 3.2 の地震が札幌市東北部, 観測点から 9 km 東方で発生した。一般的に EN 数の発生頻度は中程度で, 特に地震の数日前から増加する傾向は見られなかった。

Fig. 10 には 1995 年 4 月 26 日から同 29 日までの EN 数の変動を示してある。4 月 29 日 01 時

**Table 1.** List of earthquakes and an eruption.

Date					Latitude		Longitude		Depth	Mag.	Distance	Region	Precursor	
Y	M	D	H	M	S	D	M	D	M	(km)	(km)			
1995	Apr.	12	12	04	55.5	43	07.9	141	25.2	19	3.2	9	N Sapporo S.	×
1995	Apr.	29	01	30	00.8	43	42.4	147	53.2	3	6.5	524	E off Shikotan I.	○
1995	May.	23	19	01	28.9	43	38.4	141	43.1	15	5.7	69	NW Hokkaido	?
1995	May.	27	22	03	00.0	52	31	142	52	11	7.0	1100	N Sakhalin	?
1995	Sep.	26	16	14	37.8	41	42.2	143	30.3	40	5.8	244	S off Tokachi	○
1995	Dec.	04	03	01	04.0	44	33.4	150	08.0	57	7.2	720	NE off Uruppu I.	○
1996	Mar.	05	18	06		42	04	140	41	(Eruption)		129	Komagatake Volcano	○
1996	Mar.	10	01	15	33.2	43	12.4	148	01.1	11	6.0	541	E off Shikotan I.	○
1996	May.	08	08	20	01.8	43	27.5	147	31.9	44	6.0	510	E off Shikotan I.	×
1996	Aug.	11	03	12	00.0	38	55.0	140	38.0	7	5.9	470	N Miyagi Pref.	?
1996	Sep.	11	11	37	00.0	35	38.0	141	32.0	58	6.2	850	E off Chiba pref.	?
1996	Oct.	19	23	44	00.0	31	48.0	132	00.0	39	6.6	1510	Hyuga-nada	?



**Fig. 9.** Temporal variation of EN activities observed from Apr. 10 to Apr. 13, 1995. An earthquake (M3.2) occurred on Apr. 12, 12 hour, 04min., 7 km distant from observing site.

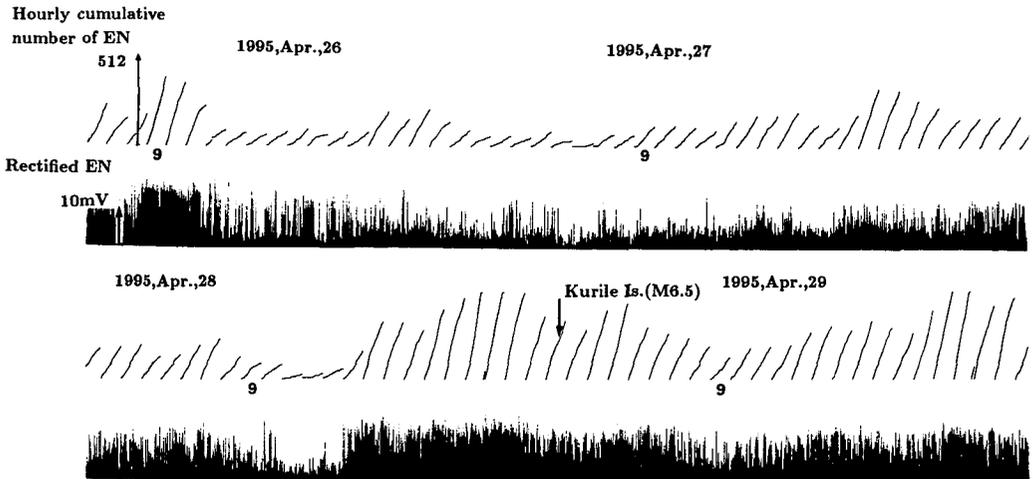


Fig. 10. Temporal variation of EN activities observed from Apr. 26 to Apr. 29, 1995. An earthquake (M6.5) occurred on Apr. 29, 01 hour, 30 min., 524 km distant from observing site.

30分に色丹島東方沖でM 6.5の地震が発生した。26日には数時間で変動する大気の擾乱によると思われるENが時々観測されているが、この地震の9時間前からEN数が増加した。この日の天候は晴れていたが、大気の擾乱のよと思われるENと明瞭には区別することはできなかった。

Fig. 11には1995年5月21日から同27日までのEN数の変動が示されている。この期間の前後1-2週間はEN数が多く観測されていた。21日からEN数が増加し始めたが天候も悪くなり、25日には雷雨が多く発生した。このためにEN数の発生数が非常に多く、この時期に活発であった地震活動との関係は不明である。23日19時01分には観測点から約70 km北方の新十津川町でM 5.7の地震が起り被害を被った(高波他, 1996, 大村他, 1997)。また色丹島沖でM 5.8, 三陸沖でもM 5.6の地震が発生した。27日22時03分にはサハリン北部でM 7.0の地震が発生し、多くの被害が発生した(勝股他, 1996)。

Fig. 12には1995年9月23日から26日までのEN数の変動を示してある。この時期に観測されたEN数は全般的に少なかった。26日16時14分に十勝沖でM 5.8の地震が発生した。EN数は25日の午後から増加し、26日の04時をピークに減少しはじめ、もとの数に戻った時点で地震が発生した。

Fig. 13には1995年12月1日から4日までに観測されたEN数の変動を示してある。11月20日頃から得撫島南方沖で群発的な地震活動が観測されていた。12月1日にはM 6.5およびM 6.8が発生した。このころからEN数の顕著な増加が始まったが、天候は快晴であった。12月4日03時01分に群発地震中最大の地震M 7.2が発生して地震活動は収束に向かった。

Fig. 14には1996年2月26日から3月5日までに観測されたEN数の変動が示されている。この期間の特徴は静穏な期間と、活発な時期が交互に現れたことである。不明瞭な間欠的な活動は図示した時期より前にも認められるが、26日18時から27日07時、27日18時から同日23時ま

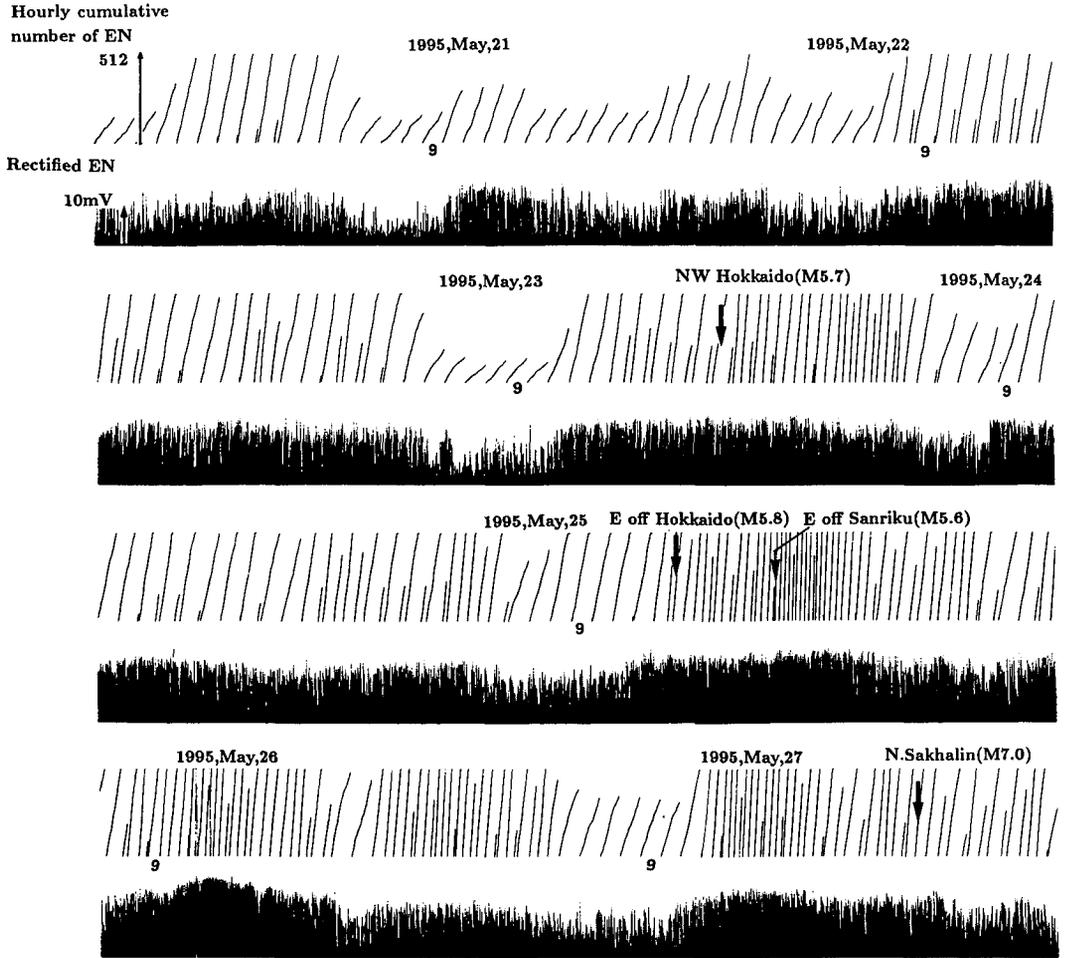


Fig. 11. Temporal variation of EN activities observed from May 21 to May 27, 1995. Background EN activities were so high and no clear changes of EN activities were distinguished before occurrence of earthquakes (M5.7, and M7.0) on May 23, 19 hour, 01 min., and on May 27, 22 hour 03 min., 70 km and 1100 km distant from observing site, respectively.

で、28日03時から同日10時まで、29日09時から同日11時まで、3月1日12時から同日14時まで、3月2日12時から3日08時まで、4日05時から同日09時まで、4日11時から同日13時まで、および4日17時から5日08時にEN数の急激な活動が観測された。最後のものが最も激しい活動であった。著者はこのような断続的な変動が回路の接触不良が原因であろうと考え、5日16時に20分間、観測を中断して、アンテナの状態を調査したが異常はなかった。18時過ぎに観測点から約130 km離れた北海道駒ヶ岳が噴火した。18時10分頃から6分間微動が観測され、その後降灰も認められた(気象庁, 1996)。このような間欠的なEN数の変動は、著者が過去1年間の観測を通して初めての現象であって、Fujinawa and Takahashi(1990)が伊豆半島沖の手石海丘噴火に伴った群発地震の際に観測したEN活動や、Fujinawa and Kumagai(1992)が観

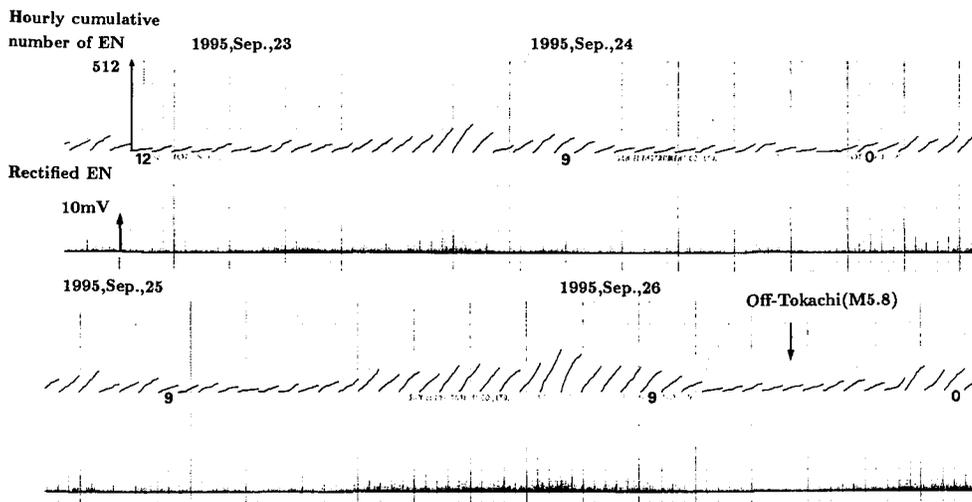


Fig. 12. Temporal variation of EN activities observed from Sep. 23 to Sep. 26, 1995. An earthquake (M5.8) occurred on Sep. 26, 16 hour, 14 min., 244 km distant from observing site.

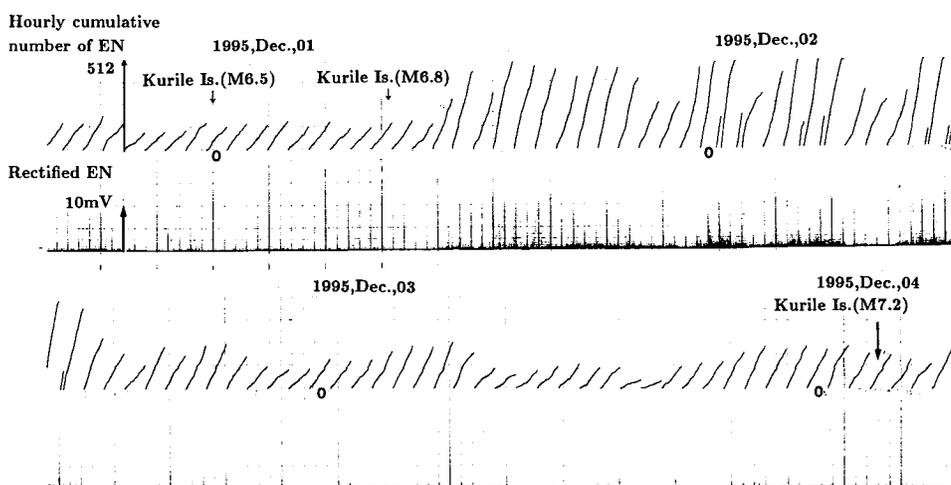


Fig. 13. Temporal variation of EN activities observed from Dec. 01 to Dec. 04, 1995. An earthquake (M7.2) occurred on Dec. 04, 03hour, 01min., 720 km distant from observing site.

測した伊豆大島の三原山の1990年の噴火に伴ったEN活動の様子に酷似している。

Fig. 15はFig. 14に続く時期に観測されたEN数の変動である。EN数の発生は大変少なかったが、3月7日午後からしだいに増加し8日0時頃からはさらにEN数が増加した。その後8日09時ごろをピークに減少した。3月10日01時15分に色丹島東方沖M6.0の地震が発生した。

Fig. 16には1996年5月5日から8日までに観測されたEN数の変動を示してある。3月10日

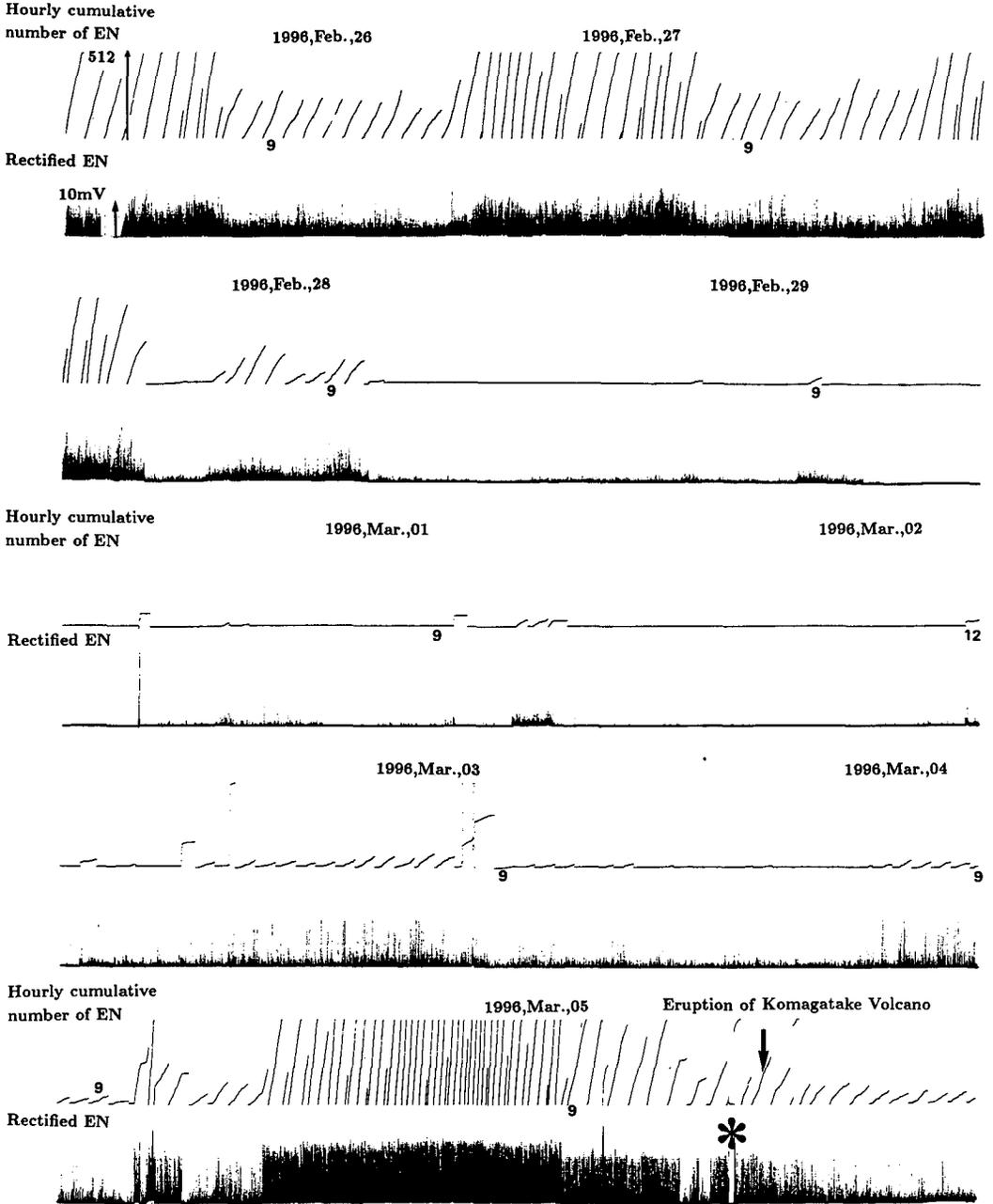


Fig. 14. Temporal variation of EN activities observed from Feb. 26 to Mar. 05, 1996. Komagatake volcano erupted on Mar. 05, 18 hour. 130 km distant from observing site. Several days before the eruption, distinctive intermittent EN activities were observed. The asterisk denotes when observation was stopped for inspectin of the instrument.

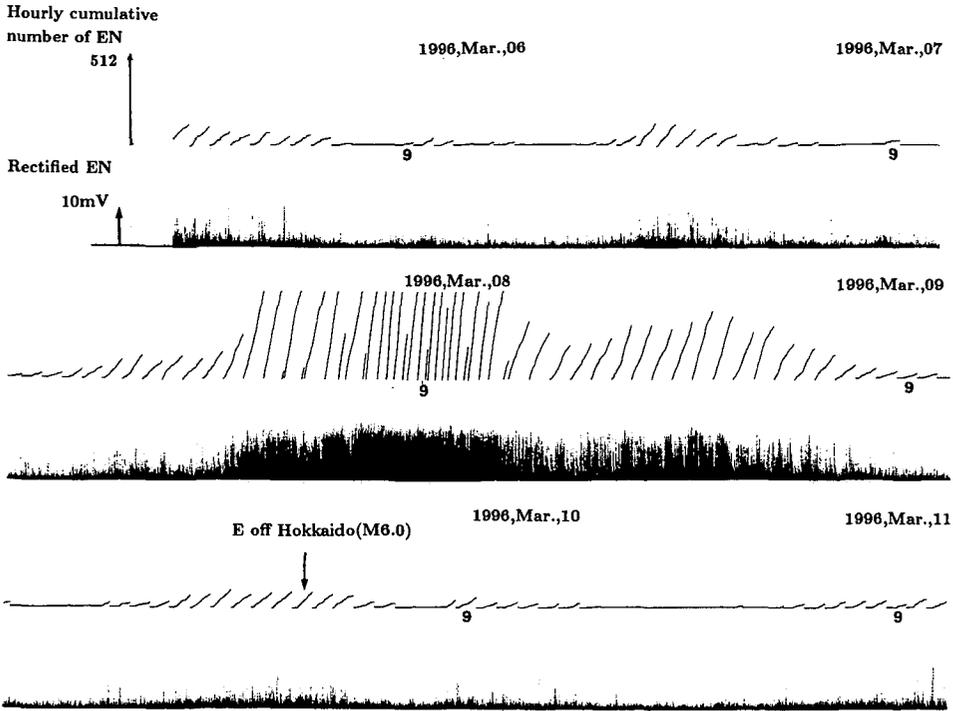


Fig. 15. Temporal variation of EN activities observed from Mar. 06 to Mar. 11, 1996. An earthquake (M6.0) occurred on Mar. 10, 01 hour, 15 min., 551 km distant from observing site.

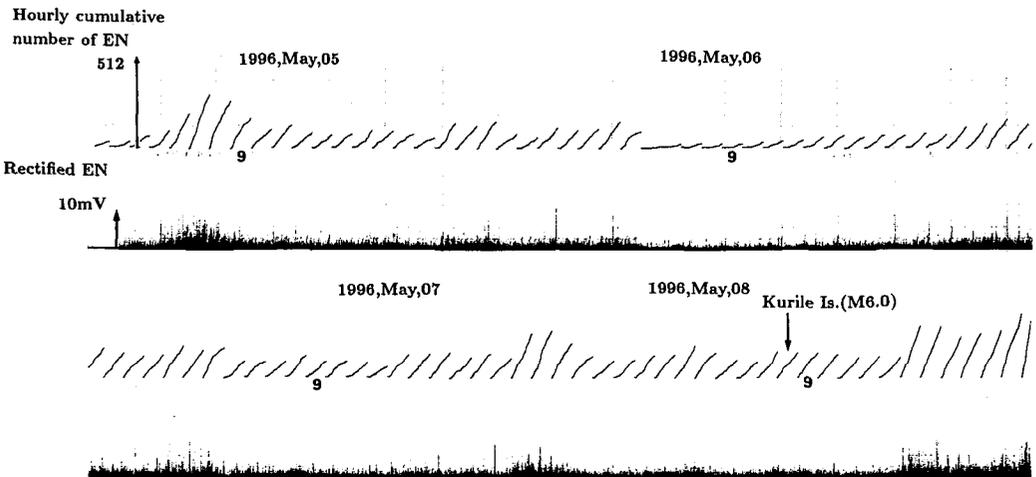


Fig. 16. Temporal variation of EN activities from May 05 to May 08, 1996. An earthquake (M6.0) occurred on May 08, 8 hour, 20 min., 510 km distant from observing site.

の地震の震央よりも約 40 km 西の地点で、8 日 8 時 20 分に色丹島東方沖で M 6.0 の地震が発生した。Fig. 16 に示すようにこの地震の発生前には EN 数の明瞭な増加は見られなかった。

その後の観測点から 1000 km 以内の顕著な地震活動 (M 6 程度以上) は、8 月 11 日宮城県北部の M 5.9, 9 月 11 日の千葉県東方沖の M 6.2 がある。また 10 月 19 日、約 1500 km 離れている日向灘で M 6.6 の地震が発生した。北大での EN 観測は続けられているが、5 月下旬から大気擾乱から発生していると思われる EN が非常に多く (1 時間当たり 1000~3000 回) なり、11 月まで続いている。このため、これらの地震活動と関連した EN 数の変動を識別することはできなかった。

## V. ま と め

高インピーダンスのアンテナとパルスカウンター方式の回路により電磁波ノイズ (EN) 数の変動を簡単に観測できるようになった。

およそ 1 年と 10 ヶ月の観測から、気象条件が通常時の EN 発生レベルを決定していることがわかった。EN 活動が地震活動に関連しているかどうか判断するためには、通常時の EN 発生レベルが非常に低いことが第一の条件である。しかし季節的な変動が見られ、一般的には夏に活発になり、冬には弱くなる傾向がある。アンテナ形状を工夫することによって、大気擾乱からの EN を減らすことができるかどうか、これからの課題である。

M が 6 から 7 の地震発生の数日前に、地震発生と関係があるように見える EN 回数の増加があった。1995 年 9 月 26 日の十勝沖の地震 (M 5.8) や、1995 年 12 月 4 日 03 時 01 分の群発地震中最大の地震 (M 7.2) では、Oike and Ogawa (1986) や芳野 (1993) が観測した EN の増加と同じ現象を観測したと考えられる。色丹島東方沖で発生した二つの地震 (M 6.0) の場合を比較すると、3 月 10 日の地震の方では EN 回数の増加が観測されたが、5 月 8 日の地震では EN 回数の増加は観測されなかった。また観測地点からわずか 7 km、深さ 10 km に起こった M 3.2 の地震では EN 回数の顕著な変化は認められなかった。1996 年 3 月 5 日の北海道駒ヶ岳の噴火直前に観測された間欠的な EN 数の変動は、Fujinawa and Takahashi (1990) が伊豆半島沖の手石海丘噴火に伴った群発地震の際に観測した EN 活動と同じ現象と考えられる。

異常と判断された EN 活動が真に異常なのか、空間的にどのようなひろがりを持っているのか、を明らかにするためには、同時多点観測が不可欠である。著者は現在、理学部地震予知観測地域センターの協力を得て、北海道内の観測点に本装置を設置している。データの蓄積によって、EN 活動と地震活動との関連性について高精度な議論が可能となろう。

謝辞 本学理学研究科地球惑星科学専攻の遊馬芳雄助教授には、アンテナについて御教授いただき、抵抗も提供していただいた。京都大学理学部の尾池和夫教授には、アンテナなど測定に関する全般的な知識を御教授していただいた。北海道大学理学部地震予知観測地域センターの笠原稔助教授には観測の便宜をはかっていただいた。

## 文 献

- Fujinawa, Y. and K.Takahashi, 1990. Emission of electromagnetic radiation preceding the Ito seismic swarm of 1989. *Nature*, **347**, 6291, 376-378.
- Fujinawa, Y. and T. Kumagai, 1992. A study of anomalous under ground electric field variations associated with a volcanic eruption. *Geophys. Res. Letters*, **19**, 1, 9-12.
- Gokhberg, M.B., V.A. Morgounov, T. Yoshino and I. Tomizawa, 1982, Experimental measurement of electromagnetic emissions possibly related to earthquake in Japan. *J. Geophys. Res.*, **87**, 7824-7828.
- 勝俣 敬・笠原 稔・S. セン・C. キン・S. セルゲイ・A. イワシエンコ・R. タテウォシヤン・S. ルキアネンコ・K. ブルトネフ V. ストラホフ, 1996, 1995年北サハリン地震日ロ合同地震観測, 北海道大学地球物理学研究報告, **59**, 1996, 177-188.
- 気象庁, 1996, 地震火山概況1996年4月, 384.
- Maeda, I., 1986. Activities of triboluminescence at sample failure of granite. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. VII*, **8**, 65-81.
- Matsu'ura, M., H. Kataoka, and B. Shibazaki, 1992. Slip-dependent friction law and nucleation processes in earthquake rupture. in Earthquake source physics and earthquake precursors, ed. T. Mikumo, K. Aki, M. Ohnaka, L.J. Luff, and P.K.P. Spudich, Special Issue of *Tectonophysics*, **211**, 149-178.
- Ogawa T., Y. Tanaka, T. Miura, and M. Yasuhara, 1966. Observation of natural ELF and VLF electromagnetic noises by using ball antennas. *J. Geomag. Geoelectr.*, **18**, 443-454.
- Ohnaka, M., 1992. Earthquake source nucleation : a physical model for short-term precursors. in Earthquake source physics and earthquake precursors, ed. T. Mikumo, K. Aki, M. Ohnaka, L.J. Luff, and P.K.P. Spudich, Special Issue of *Tectonophysics*, **211**, 149-178.
- 尾池和夫・小川俊雄, 1982. 地震に伴う電磁放射の観測. 京都大学防災研究所年報 **25**, (昭和57.4).
- Oike, K. and T. Ogawa 1986. Electromagnetic radiations from shallow earthquake observed in the LF range. *J. Geomag. Geoelectr.* **38**, 1031-1040, 1986.
- 大村猛・森谷武男・大塚健・本谷義信・勝俣啓・一柳昌義・岡山宗夫・高田真秀・鈴木淳志・浅井康広・笠原稔, 1997, 1995年5月23日北海道新十津川町の地震(M5.7)の余震観測, 北海道大学地球物理学研究報, **60**, 45-60.
- 高橋耕三・藤縄幸雄・松本拓巳, 1996.地震に伴う電磁波(SRS)の発生源の決定. 地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集, **A 21-P 62**.
- 高波鉄夫・一柳昌義・長郁夫・中西一郎, 1996, 1995年5月23日北海道空知中部の地震(MJMA=5.7)のメカニズム解とそれに関連した北海道北西部のテクトニクス. 地震II, **49**, 347-360.
- 山田聡治・尾池和夫, 1995. 1995年兵庫県南部地震前後に観測された電磁波異常. 地球惑星科学関連学会1995年合同大会ポスターセッション.
- Yamada, I., K. Masuda and H. Mizutani, 1989. Electromagnetic and acoustic emission associated with rock fracture. *Phys. Ear. Planet. Inter.*, **57**, 157-168.
- 芳野昶夫, 1993. 地震と電波. 地震ジャーナル, **16**, 8-23.
- 芳野昶夫, 1996. 兵庫県南部地震で認識された内陸直下型地震に対する高周波電磁放射による予知の可能性. 地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集, **A 21-P 64**, 1996.