

札幌管区気象台地震波形テレメータシステム 整備による地震検知能力の変化について*

山内 義敬** 高山 博之***

§ 1. はじめに

札幌管区気象台では1982年3月、地方中枢気象資料伝送網 (Local Automated Data Editing and Switching System: L/ADESS) の整備に伴い、同時に地震資料伝送網も整備された。これにより、北海道内の地震観測官署の地震波形は、札幌に伝送され処理されることになった。

このシステム (以下新システムと呼ぶ) は緊急作業としての津波予報作業の迅速化と大・中・小地震活動状況の常時監視を目的にしており、現在では東京・仙台・大阪・福岡・札幌の各管区と沖縄気象台に整備されている。札幌の新システムによる業務は数カ月のテスト運用の後、1982年10月から正式運用された。

新システム整備中の1982年3月21日に「昭和57年浦河沖地震、M:7.1」が発生している。

本年度で新システムによる観測は、その開始から5年が経過しようとしている。そこで本報告では、札幌において従来のシステム (以下旧システムと呼ぶ) と新システムによる観測を平行して行っていた1982年4月から9月までの資料を用いて、地震検知能力の変化について述べることにする。

新システムの構成及び論理については市川 (1981, 1982) に詳細に述べられている。また、調査方法は山本他 (1985) を参考にした。

§ 2. 新・旧システムの地震波形の収録とデータの 流れ

(1) 旧システムによる地震波形データの流れ

第1表のように、札幌管内では20カ所に各種地震計が設置されている (本荘, 大船渡2は仙台管区内)。これらの地震計のうち、67型磁気テープ式電磁地震計 (以下67型地震計とする) に記録された磁気テ-

ープは、各官署から旬毎に札幌に郵送され、札幌ではこれらのテープ記録から地震記録を取り出し、編集して気象庁に郵送していた。

また、76型磁気テープ式電磁地震計 (以下76型地震計とする) の磁気テープは各官署から気象庁に直送されていた。気象庁では郵送された磁気テープを検測処理していた。

この他、各地震観測官署の59型及び61型直視式電磁地震計や1倍強震計 (これらはVI, VD, Sと略記されている) は自記インクドラムに連続記録されており、59型及び61型地震計で記録された記録全振幅1mm以上の地震は検測され、旬毎に札幌経由で気象庁に郵送されていた (1982年2月1日からは検測及び報告様式が変わり、59型地震計に記録された地震の記録全振幅が3mm以上の地震、及び各官署で有感であった地震のみ検測されL-ADESSの200bpsの回線で、翌日には札幌と気象庁に報告されており現在も変りない)。

(2) 札幌の新システムによる地震波形の収録と地震 観測網

第1表中の○を付した地震計の波計データが、各官署からCDF (Coded Decimal Faximile) の上り回線を利用して4800bpsの通信速度で札幌に送られてくる。但し、広尾はCDF回線が通っていないため、広尾2の地震波形は地震専用のD1回線で帯広に送られ、帯広のデータと共にCDF回線で札幌に伝送されている。テレメータされている地震計の配置を第1図に示す。このうち、留萌 (RMJ) は59型直視式電磁地震計の信号をフィルターを通し、67型地震計のデータと同等の特性にして伝送している。

また、仙台管区の本荘 (HJH)、大船渡 (OFUJ) はD1回線で札幌に分岐伝送している (大船渡は1986年9月)。図中の三角印は火山観測用の62Eおよび

* Yoshiaki Yamauchi and Hiroyuki Takayama: On the variation of the seismic determination capability by the newly installed Sapporo Seismic Telemetering System. (Received July 4, 1987)

** 札幌管区気象台 (現 釧路地方気象台)

*** 札幌管区気象台

第1表 札幌管区気象台管内地震計設置点とテレメータ観測点

67: 67型磁気テープ式電磁地震計, 76: 76型磁気テープ式電磁地震計,
VI: 59型直視式電磁地震計, VD: 61型長周期電磁地震計, S: 一部強震計
本荘 (HJH), 大船渡2 (OFUJ) は仙台から分岐している。
ブロックについては § 2 参照。

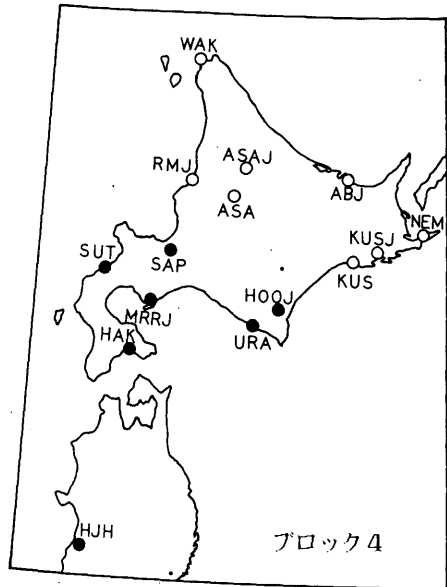
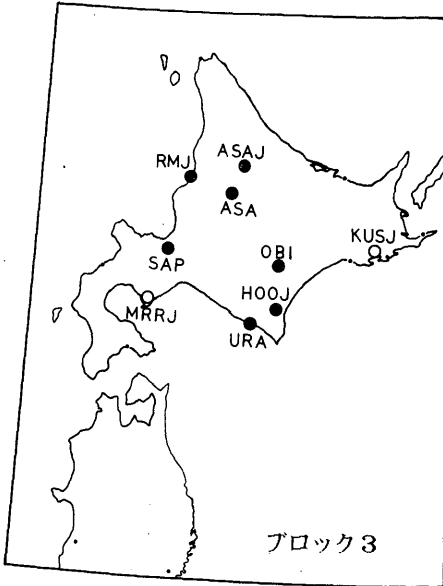
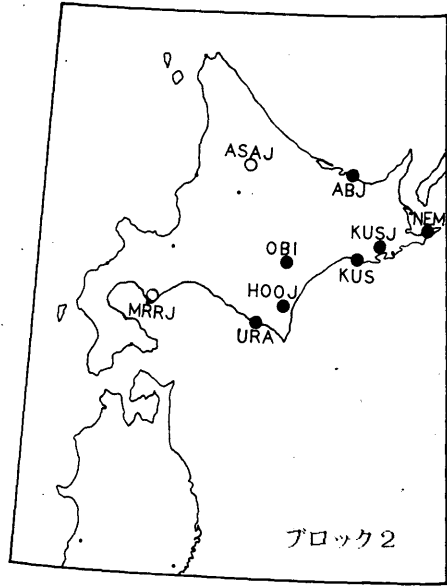
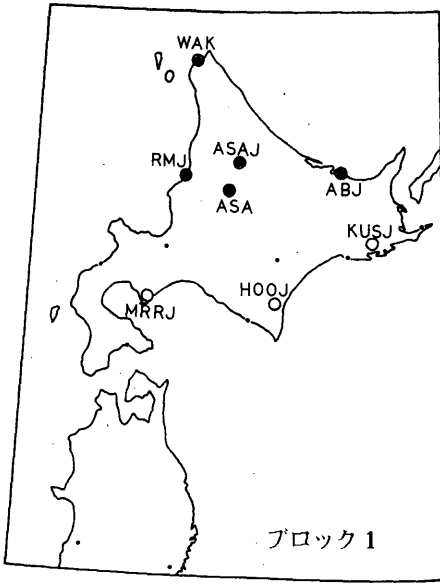
| 地 点 | | | Lat | Long | 設置地震計 (○はテレメータ) | ブロック | | | |
|------|-------|------|---------|----------|--------------------|------|---|---|---|
| 地点名 | (地 名) | 略号 | | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 稚内2 | | WAKJ | 45 25.0 | 141 40.4 | VI | | | | |
| 稚内 | | WAK | 45 24.8 | 141 41.0 | ⑥7 S | ● | | | |
| 旭川2 | (朝日) | ASAJ | 44 07.0 | 142 35.8 | ⑦6 | ● | | ● | |
| 網走 | | ABJ | 44 00.9 | 144 17.0 | ⑥7 VI S | ● | ● | | |
| 留萌 | | RMJ | 43 56.6 | 141 38.2 | ⑦1 | ● | | ● | |
| 旭川 | | ASA | 43 46.2 | 142 22.4 | ⑥7 VI S | ● | | ● | |
| 根室 | | NEM | 43 19.7 | 145 35.4 | ⑥7 VI VD S | | ● | | |
| 釧路2 | (太田) | KUSJ | 43 06.0 | 144 47.7 | ⑦6 | | ● | | |
| 札幌 | | SAP | 43 03.5 | 141 19.9 | ⑥7 VI S | | | ● | ● |
| 釧路 | | KUS | 42 58.5 | 144 23.5 | ⑥7 VI S | | ● | | |
| 帯広 | | OBI | 42 55.2 | 143 13.0 | ⑥7 VI S | | ● | ● | |
| 寿都 | | SUT | 42 47.4 | 140 14.4 | ⑥7 VI S | | | | ● |
| 苫小牧 | | TMR | 42 37.4 | 141 35.1 | S | | | | |
| 室蘭2 | (幌別) | MRRJ | 42 25.5 | 141 04.3 | ⑦6 | | | | ● |
| 広尾2 | (野塚) | HOOJ | 42 23.0 | 143 17.2 | ⑦6 | | ● | ● | ● |
| 室蘭 | | MRR | 42 18.6 | 140 58.9 | VI S | | | | |
| 浦河 | | URA | 42 09.5 | 142 46.9 | ⑥7 VI S | | ● | ● | ● |
| 広尾 | | HOO | 42 17.5 | 143 19.2 | S | | | | |
| 森 | | MOR | 42 06.2 | 140 34.3 | S | | | | |
| 函館 | | HAK | 41 48.9 | 140 45.3 | ⑥7 VI S | | | | ● |
| 本荘 | | HJH | 39 20.3 | 140 10.4 | ⑥7 | | | | ● |
| 大船渡2 | | OFUJ | 39 04.8 | 141 40.1 | ⑦6 | | | | |

62F型電磁地震計であるが、テレメータはされていない。各官署から伝送されてきた波形データの中から地震波形を識別するためには振幅、周期等から3つの条件が定められており、このうちの2つ以上を同時に満足したときに地震と判定し、地震検出信号を出力する。

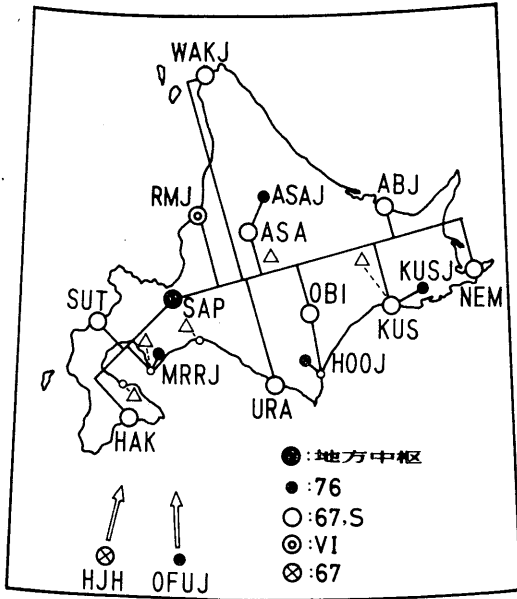
ところで、各観測点は第1表のように4つのブロックに登録されている。あるブロック内のある地点が地震検出信号を出してから7秒後に、地震検出信号を出している地点数が判定用地点数 (SLMIT) 以上なら地震と判定する (多点トリガー)。

また、地震判定用地点組合せであたえた2地点で、地震検出信号を出した場合も地震と判定する (2点トリガー)。

地震波形の収録は地震検出地点数がブロック内全地点収録地点数 (ALMIT) 以上になると、そのブロック内の全ての観測点のデータが収録される。ALMITに満たなければ、地震検出信号を出した地点のみ収録される。札幌の地震判定地点数 (SLMIT)、全地点収録地点数 (ALMIT) は1983年8月までは第2表のように設定していた。括弧内は現在 (1987年6月) の設定地点数である。



第2図 地震識別用ブロック分割
白丸は1983年9月以後に追加された地点



第1図 札幌管内のテレメータされている地震計の配置図
△は火山観測用の62Eまたは62F型電磁地震計でテレメータされていない。

第2表 地震判定地点数及び全地点収録地点数
括弧内は1987年6月の地点数

| 各項目地点数 | ブロック | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------|------|------|------|------|-------|
| ブロック内登録地点数 | | 5(8) | 7(8) | 7(9) | 7(15) |
| 地震判定地点数 (SLMIT) | | 3(3) | 3(3) | 3(3) | 3(4) |
| 全地点収録地点数 (ALMIT) | | 4(4) | 4(3) | 4(4) | 4(6) |

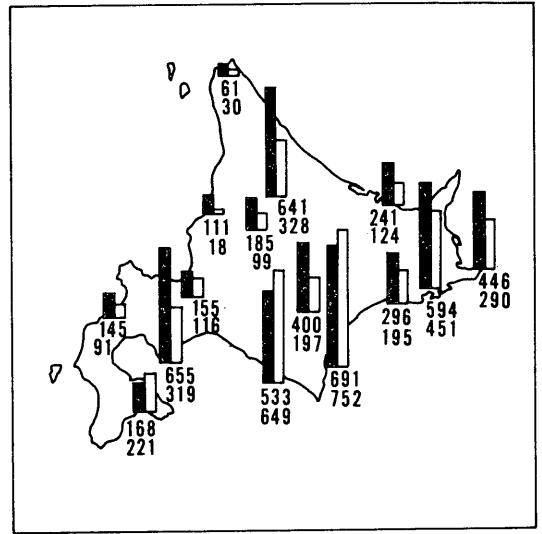
札幌のブロック分割、登録地点数は第1表および第2表のようになっているが、その配置を図示したのが第2図である。図中の白丸は1983年9月以後に追加登録された地点である。

第1ブロックは北海道北部とその近海に発生する地震を対象にしており、第2ブロックは北海道東部を、第3ブロックは北海道内の地震を、そして第4ブロックは北海道の南部とその近海に発生する地震を対象にしている。

§ 3. 新・旧システムの地震波形収録状況と地震検知能力

(1) 地震波形収録状況

第3図は1982年4月～9月の新・旧システムの地



第3図 各観測点の地震波形数 (1982年4月～1982年9月)
数字は上段が新システム(黒塗)、下段が旧システム(白抜き)
■:新システム □:旧システム

震波形の収録状況であるが、全体では新システムは旧システムの約1.4倍の波形数となっている。このうち、函館(HAK)、浦河(URA)、広尾2(HOOJ)の新システムは旧システムの70%, 80%, 90%の波形数となっているが、これは函館付近の小地震や浦河沖及び十勝沖の小地震など一観測点のみに検知される地震が多いためと考えられる。

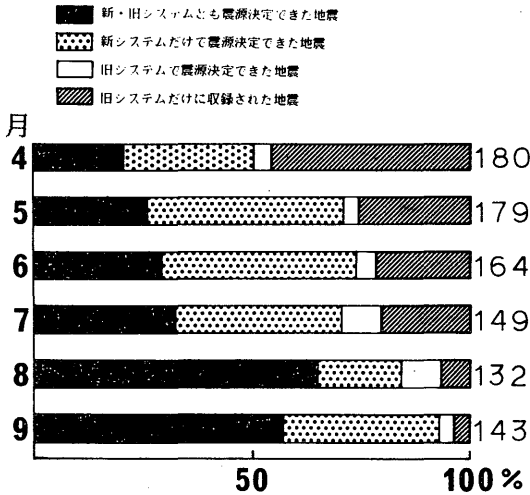
一方、同じく地震活動の活発な釧路沖から根室半島南東沖の地震波形を収録する釧路(KUS)や釧路2(KUSJ)および根室(NEM)はそれぞれ1.5倍、1.3倍、1.5倍となっており、新システムの方が検知能力が高い。これは、これらの観測点が近接しているために、複数地点トリガー方式が有効に働いているものと思われる。前述の観測点以外では、室蘭2(MRRJ)の2.1倍、帯広(OBJ)の2倍、網走(ABJ)旭川(ASA)が1.9倍、札幌(SAP)1.3倍、寿都(SUT)1.6倍となっており、地震計倍率1万倍の旭川2(ASAJ)が2倍となっている。

(2) 地震検知能力

震源決定状況を調べるため1982年4月～9月のペンレコーダに記録された地震波形を再検測し、震源要素を求めた。マグニチュード(M)は市川・神林の「P～Fによる地震規模の決定」を用いた。このた

第3表 M:3とM:2.5の地震検知能力

| 地震計 | 観測点 | 新システム | | 旧システム | |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| | | M:3 | M:2.5 | M:3 | M:2.5 |
| 59型 | 留萌 | km | km | km | km |
| | | 120 | 86 | (24) | (13) |
| 76型 | 室蘭2 | 300 | 210 | 230 | 160 |
| | 広尾2 | 270 | 190 | 200 | 140 |
| | 釧路2 | 290 | 200 | 250 | 165 |
| | 旭川2 | 313 | 240 | 290 | 200 |
| 67型 | 稚内 | 170 | 115 | (100) | (60) |
| | 旭川 | 140 | 95 | 90 | 60 |
| | 網走 | 220 | 150 | 150 | 105 |
| | 寿都 | 180 | 130 | 165 | 110 |
| | 札幌 | 130 | 85 | 105 | 70 |
| | 帯広 | 120 | 84 | 115 | 80 |
| | 釧路 | 160 | 98 | 115 | 70 |
| | 根室 | 290 | 200 | 245 | 165 |
| | 浦河 | 190 | 130 | 135 | 85 |
| | 函館 | 150 | 100 | 140 | 90 |



第4図 新・旧システムの震源決定状況の月別変化
右端の数字は月別の全地震数

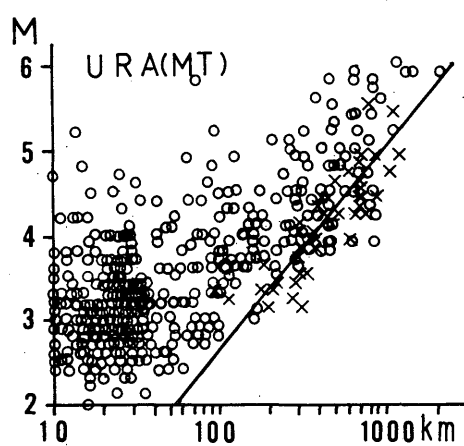
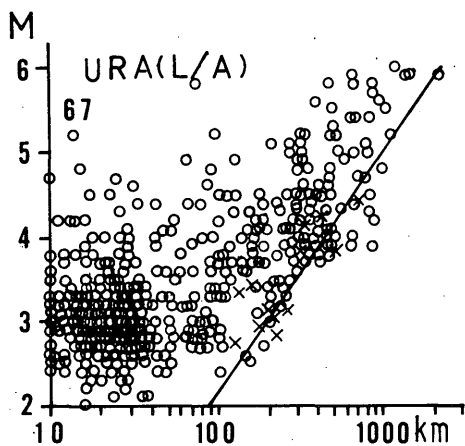
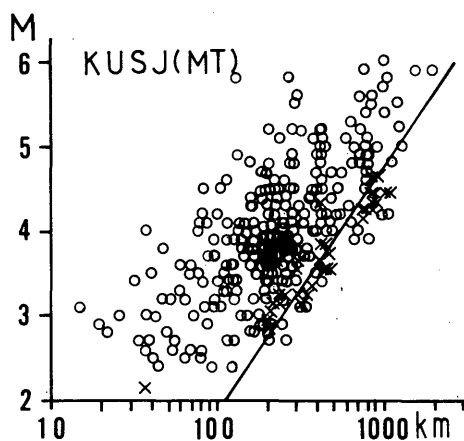
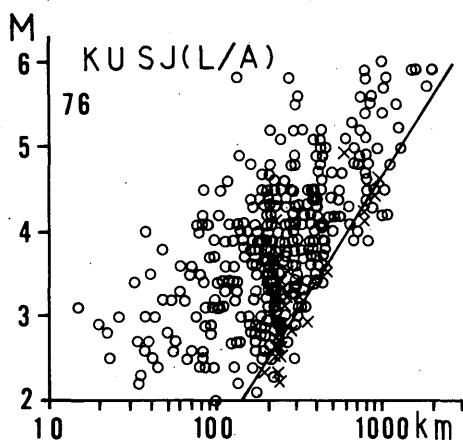
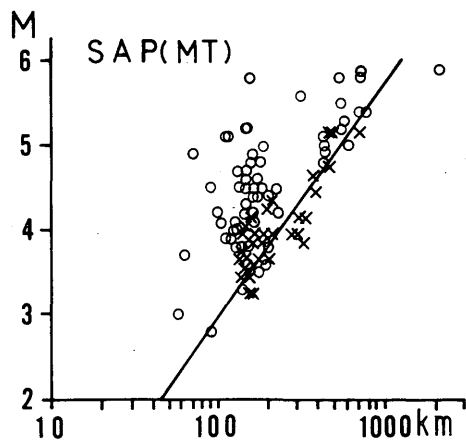
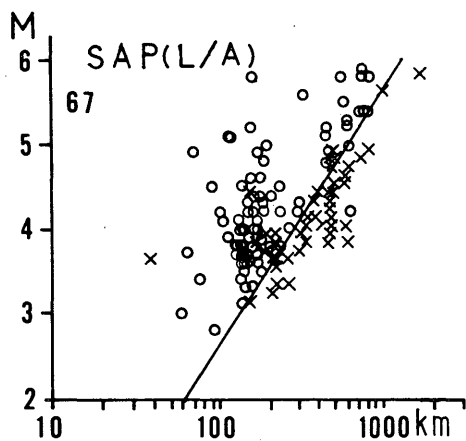
め、波形の記録がノイズレベルまでとれてないものはMを求めている。

求められた震源を新システムによる震源とし、地震月報に掲載されている震源を旧システムによる震源とした。第4図に新・旧システムによる震源決定の割合を示した。図中右端の数字は月毎の全地震数である。旧システムだけで震源決定された地震は、北海道のデータだけでは震源を求められなかったもので、東北地方より南に発生した地震や遠地地震である。地震識別パラメータやトリガーの組合せの改善により、旧システムだけに収録される地震の割合が月毎に小さくなっている。震源が求められた地震は、旧システムで397個、新システムではMの決まらないものも含めて690個である。

次に、震源決定されたこれらの地震から、各観測点毎の地震検知能力を調べた。このうち、都市ノイズのため検知能力の悪い札幌(67型地震計)の例と、地震回数が多い太平洋沿岸の釧路2(76型地震計)および浦河(67型地震計)について第5図に示す。○印はP相が検測できた地震、×印はP相が検測できなかった地震であり、L/Aが新システム、MTが旧システムである。直線はP相が検測可能となるマグニチュードと震央距離(M-Δ)の関係をフリーハンドで引いたものである。他の観測点についても同様の作図からM-Δの関係を求めた。第3表は観測点毎のM-Δの直線からM:3とM:2.5の地震の

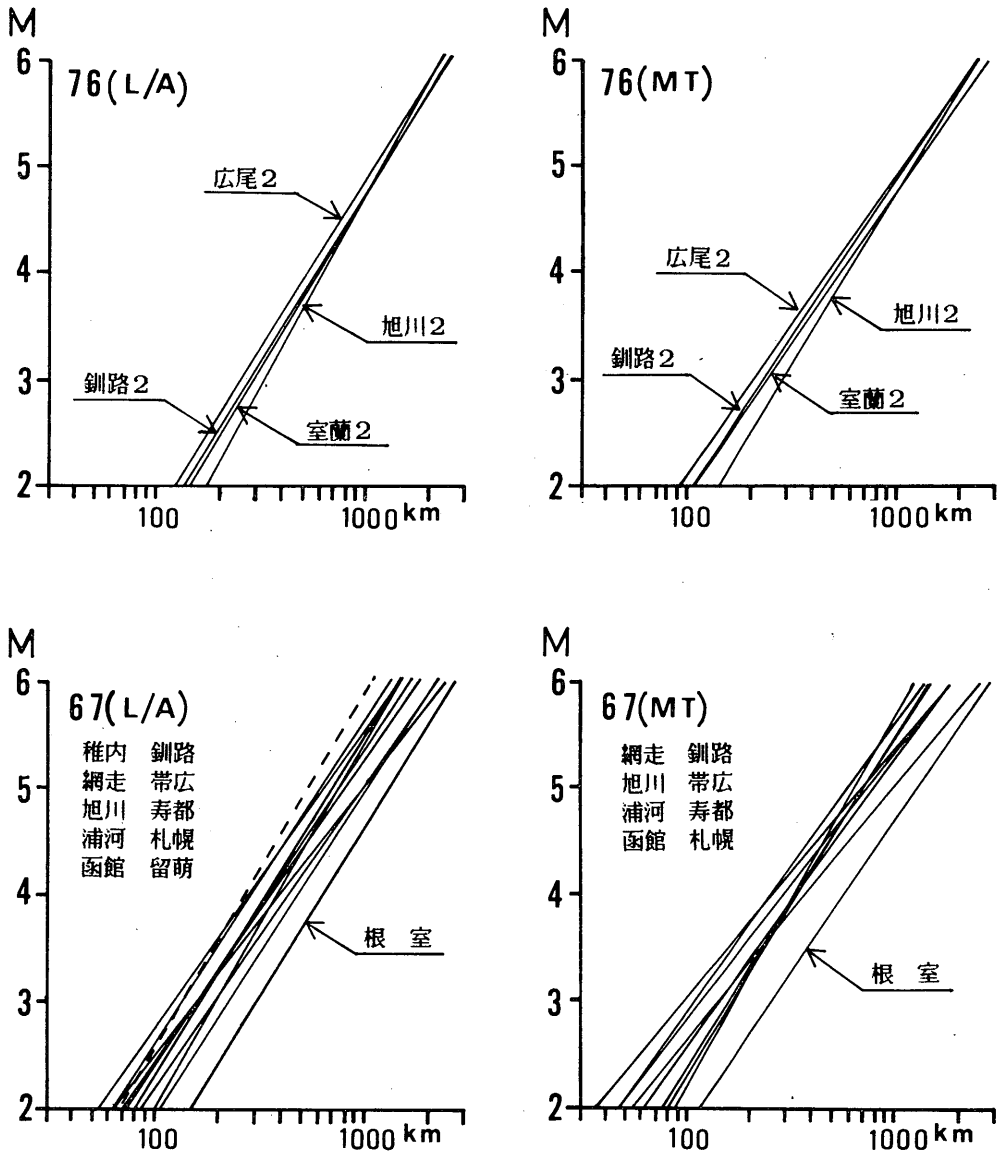
検知可能な震央距離を求めたものであり、これらの直線を地震計別に示したのが第6図である。各観測点とも地震検知能力は向上している。76型地震計では室蘭2と広尾2の検知能力が大巾に向上しているが、旭川2は波形収録数が旧システムの2倍もある割にはM-Δでみるとそれほど変化していない。これは、北海道付近の地震の発生地域が北海道南部から千島方面にかけての太平洋岸とその近海に集中しているので、震央距離が大きく、長周期の波形が多くなるためP波が検測し難いことが原因と思われる。また、67型地震計の観測点でも検知能力は向上しているが、観測点による変化の中が大きい。特に地盤条件の悪い旭川、札幌、帯広、函館は都市ノイズの影響を受け、他の観測点と比較するとM-Δは小さく、S/N比が悪い。

なお、第3表の稚内と留萌の旧システムはデータが少ないので括弧を付し参考とし、MTのM-Δの直線も除いた。



第5図 観測点別地震検知能力

L/A: 新システム, MT: 旧システム, 縦軸はマグニチュード, 横軸は震央距離(△),
76: 76型地震計, 67: 67型地震計, ○: P相が検測できた地震, ×: P相が検測できな
い地震, 直線はP相が検測可能となるマグニチュードと震央距離の関係を示す。

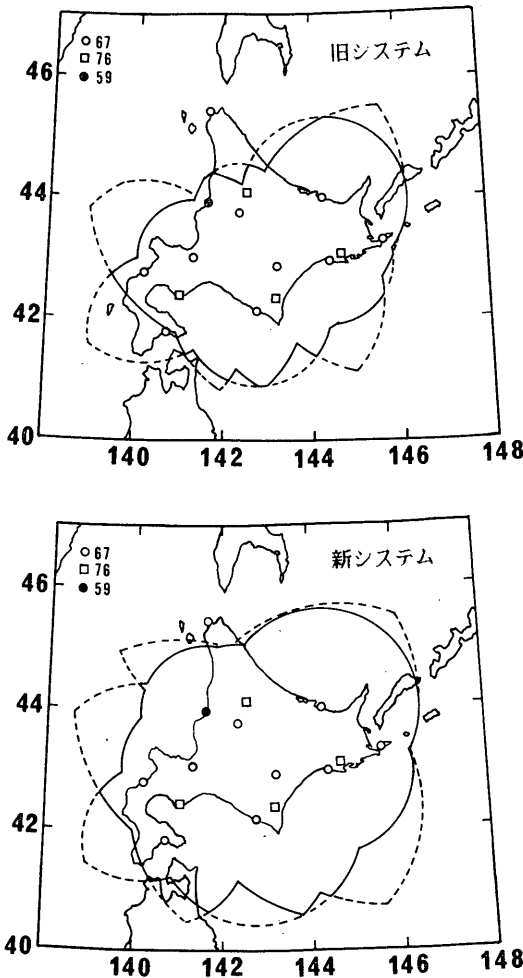


第6図 新システムによる地震計別の検知能力
 76：76型地震計，67：67型地震計，点線は留萌の59型地震計
 L/A：新システム，MT：旧システム

§ 4. 新・旧システムの震源決定能力

第3表のM：3の値を用いて新・旧両システムの震源決定可能範囲を推定すると第7図のようになる。旧システムでは、旭川以北のM：3の地震は検知できなかったことになるが、新システムではかなり改善されている。しかし、稚内付近はまだ検知でき

ない範囲が残る。これは地震計の分布密度の荒さが原因と考えられる。このように新システムでは北海道北部の一部を除き殆どカバーできることになる。特に76型地震計は、ノイズレベルの高い観測点を補い震源決定に大きく寄与していることがわかる。両システムの1982年4月から1982年7月までの震央分布図を第8図に示す。旧システムは地震月報に

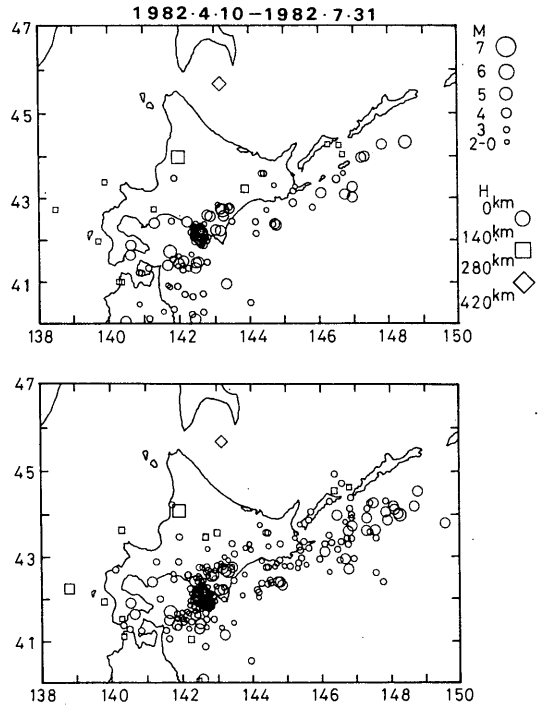


第7図 震源決定能力の推定
 上図：旧システム，下図：新システム
 実線：M \geq 3の地震を4点の観測点で検知可能な範囲
 破線：M \geq 3の地震を3点の観測点で検知可能な範囲

よる震央，新システムは札幌で求めた震央をプロットしたものである。

旧システムと比較し，新システムは北海道内陸部の地震と北海道東方の地震数が多くなっている。この期間，地震月報による地震は165個であるが，新システムでは408個の地震の震源が求められており，2.5倍増加している。

なお，根室半島から国後島付近の地震に対して，太平洋沿岸の観測点は直線上に位置するため，網走，旭川2の検測値の有無が，この方面の小地震の震源



第8図 新・旧システムの震央分布図
 上図は旧システム（地震数165）
 下図は新システム（地震数408）
 MおよびHのシンボルは両図とも同じ

要素決定に大きな影響を与えることになる。

§ 5. ノイズレベルから推定した新システムの震源決定能力

震源決定には地震計による検知能力の違いと共に，バックグラウンドノイズの大きさもP相の検測に大きな影響をおよぼす。このため各観測点のノイズの大きさがどの程度震源決定に影響しているかを調べ，地震計の移設および再配置の参考とするため，ノイズの大きさから震源決定能力を推定してみた。

調査方法は，仮定した震央から求めた各地点の最大振幅と，新システムのペンレコーダ記録のノイズを比較し，最大振幅がノイズレベルより大きければその震央の地震波形が検測可能と仮定した。

第4表は，1986年2月から3月にかけての約1ヶ月間のペンレコーダ記録から読取った各地点の夜間（午前2時）と昼間（午後2時）のノイズの平均値である。地盤条件の悪い地点は昼夜のノイズ差が4倍にもなり，特に稚内，旭川，札幌，帯広はかなり大きな値となっている。

第4表 各地点のノイズ振幅

単位はマイクロカイン(留萌はミクロン), 釧路2の水平動は地震計の固有周期0.22秒

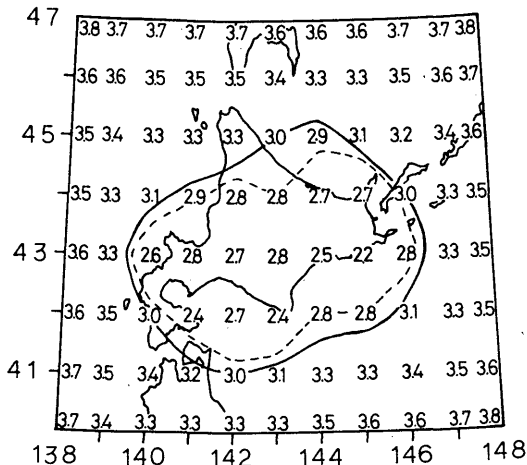
| 観測点 | | 根室 | 釧路2 | 広尾2 | 旭川2 | 室蘭2 | 網走 | 釧路 | 帯広 | 旭川 | 浦河 | 寿都 | 函館 | 札幌 | 留萌 | 稚内 | 本荘 |
|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|----|-----|----|
| 02時 | 水平動 | 51 | 18 | 83 | 19 | 100 | 40 | 126 | 211 | 156 | 300 | 144 | 199 | 181 | 2 | 573 | |
| | 上下動 | 33 | 40 | 105 | 22 | 98 | 32 | 30 | 611 | 194 | 128 | 103 | 118 | 323 | 2 | 520 | 81 |
| 14時 | 水平動 | 91 | 22 | 73 | 19 | 109 | 61 | 387 | 701 | 605 | 445 | 160 | 423 | 279 | 4 | 499 | |
| | 上下動 | 41 | 44 | 108 | 21 | 142 | 55 | 127 | 2582 | 830 | 183 | 97 | 367 | 1258 | 2 | 625 | 89 |

次に、北緯40~47度、東経138度~148度の1度毎の格子点を震央と仮定し、気象庁で使用しているEMTの波形から浅発地震のMを求める式を使い、各地点の最大振幅を求めた。この最大振幅が水平動のノイズレベルより大きいときはS波が、また最大振幅の5分の1が上下動のノイズレベルより大きいときはP波が検出可能と仮定し、検出可能地点がP波で2ヶ所以上あり、P波およびS波合わせて5個以上が検出可能であるとき震源が決定できるとした。

第9図はノイズレベルから推定されるM \geq 3の震

源決定可能範囲である。図中の数字は、午前2時のノイズレベルから計算された各格子点の震源決定可能な最小のマグニチュードである。これからM \geq 3の地震の震源決定が可能となる範囲は実線のようになる。

破線は午後2時のノイズから同様の方法で求めたM \geq 3の震源決定可能範囲である(各格子点のMは

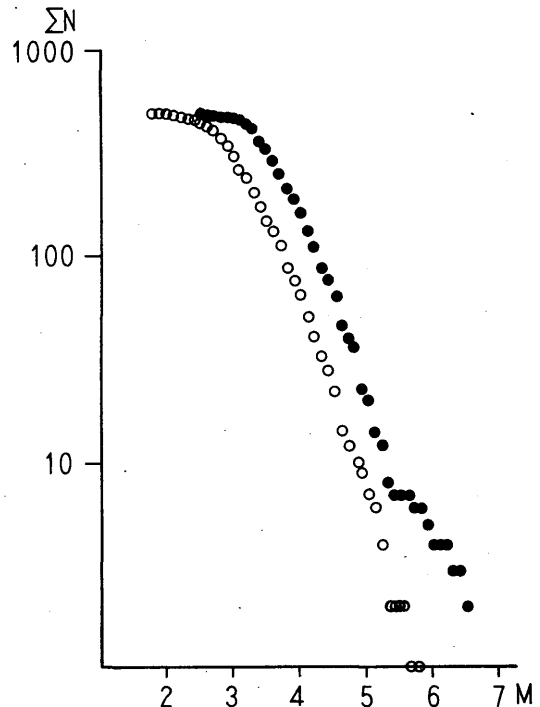


第9図 ノイズレベルによる震源決定可能範囲の推定

数字は02時のノイズレベルから求められた各格子点の最小マグニチュード

実線: M \geq 3の震源決定可能範囲

破線: 14時のノイズレベルから求められたM \geq 3の震源決定可能範囲(各格子点の最小マグニチュードは省略)



第10図 規模別地震回数

黒丸: 旧システム(1980年4月~1982年3月 498個)

白丸: 新システム(1982年4月~1982年9月 491個)

省略), 第7図と同じように, 北海道北部が $M \geq 3$ の震源決定可能範囲から外れる。

稚内は昼夜ともノイズレベルが高くなっているが, 稚内の観測点は港に隣接していることと, ノイズの調査時期が冬期であることから, 波浪の影響を大きく受けているものと思われる。また, 留萌(59型地震計)も同じことがいえる。

なお, 夜間と昼間のノイズ差が大きい観測点があるにもかかわらず, 震源決定可能範囲にそれほど差がないのは, §4で述べたように観測条件のよい76型地震計がこれらの観測点を補っているためである。

§6. 規模別地震回数

第10図は北緯41~46度, 東経139~146度内に発生した地震の規模別積算地震回数である。黒丸が地震月報に掲載された地震で1980年4月から1982年3月までの498個の地震, 白丸が新システムで震源決定された1982年4月から1982年9月までの491個の地震である。

この図に直線をあてはめると, 直線からはずれる所の M は地震月報で $M: 3.4$, 新システムで $M: 2.8$ 程度となる。

§7. 震源要素の比較

新・旧システムで求められた震源要素を「昭和57年浦河沖地震」の余震と, 東経146度から東の北海道東方の地震について比較してみた。

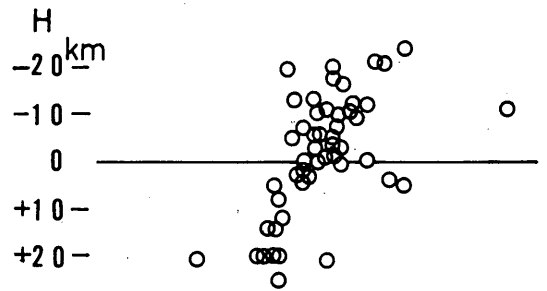
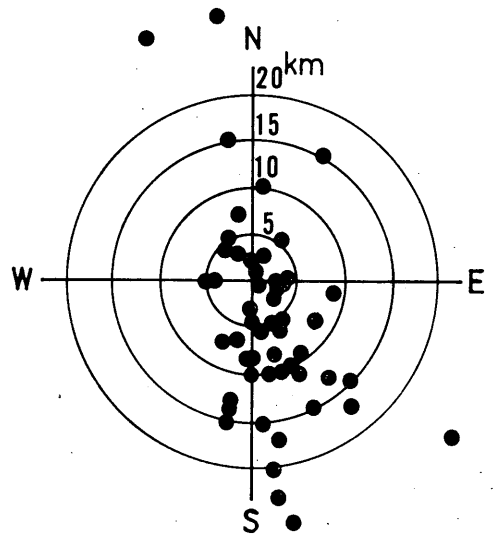
(1) 浦河沖地震

浦河沖地震が発生した1982年3月は, 新システムは機器の設置と調整中のため欠測が多く, 震源を決めることができた地震は54個であった。

これらの地震の地震月報の値を基準にした震央および深さの差を第11図に示す。震央の差は70%が10km以内に含まれるが, 南東方向に偏り, 新システムの方がやや深く求まる傾向がある。これは, 観測条件のよい観測点が震央の東側の太平洋沿岸に分布していることと, これらの観測点のP波走時が襟裳岬以西の地震に対してやや早いことが原因と考えられる。特に, 釧路, 釧路2, 根室は2秒から数秒早いことが経験的に知られている。

(2) 北海道東方の地震

第12図は1985年1月から12月までの, 北海道東方の東経146度から149度までの $M \geq 3$ の地震の地震



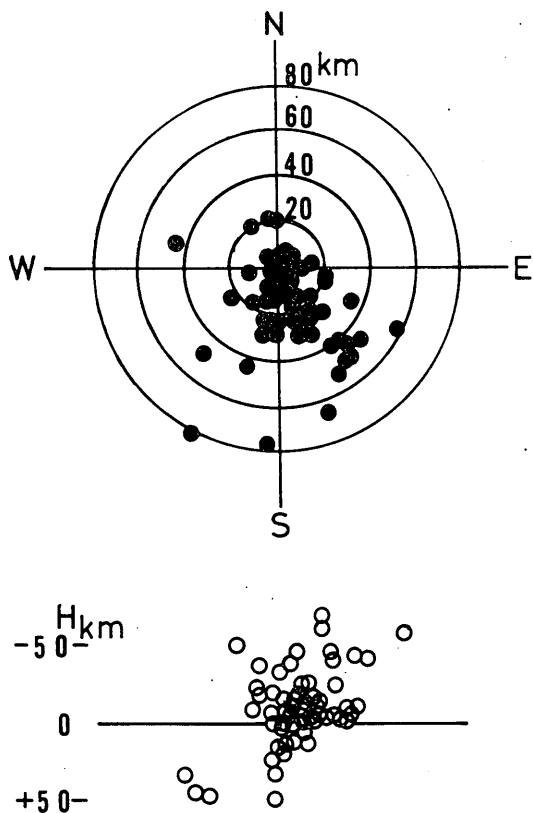
第11図 浦河沖地震の新・旧システムによる震源の差

上図: 震央の差, 下図: 震源の深さの差(東西断面)

いずれも地震月報の震源要素を基準にしている。

月報による震央と, 札幌の波形処理で求められた震央と深さの差を示す。前項と同じく, 地震月報の値を基準にしている。

北海道東方の地震は, 地震月報の震央より南に偏り誤差が大きい。この傾向は震源が遠くなるほど顕著になる。これは, 北海道東方の地震に対する観測点の配置の偏りと, 北海道下の複雑な地震波速度構造によると考えられ, これを解決するための一方法として, 震源決定法の改良が指摘されている(後藤: 1986)。



第12図 北海道東方の地震の新・旧システムによる震源の差

上図：震央の差，下図：震源の深さの差（東西断面）

いずれも地震月報の震源要素を基準にしている。

- (1) 複数地点トリガー方式の新システムになってから波形収録数が増加し、地震検知能力が改善された。北海道付近の地震に限ると、震源要素が決められる最小の地震は、旧システムでM：3.4程度だが新システムではM：2.8程度になった。
- (2) 「昭和57年浦河沖地震」の余震を新システムで震源を求めると、南東方向にずれる傾向がある。
- (3) 北海道東方の地震に対して、北海道の観測点は全て西に位置するため、震源誤差が大きくなる。このため、観測点の配置の再検討と震源決定法の改良が今後の課題である。
- (4) バックグラウンドノイズの大きい観測点の移設と、火山観測用地震計の利用も含めた地震計の適性な配置により、検知能力の向上が期待される。特に、北海道北部の観測網の整備と火山観測用地震計のテレメータは急がれる。

参考文献

- 市川政治（1981）：地震資料伝送網，測候時報，48，17～27。
- 市川政治・神林幸夫（1982）：P～Fによる地震規模の決定，験震時報，46，1～6。
- 市川政治（1982）：L-ADESS地震端末による地震データ処理，験震時報，46，47～83。
- 山本雅博・後藤主夫・豊田正昭・永岡 修（1985）：福岡管区気象台地震波形テレメータシステム整備とそれに伴う地震検知能力の改善について，験震時報，49，93～104。
- 後藤和彦・山岸 晋（1986）：北海道東方沖の地震活動について，札幌管区研究会誌。

§ 8. まとめ

1982年3月に設置された地震資料伝送網の資料により、地震検知能力の変化について調査してみた結果、次のことがわかった。