

空間自己相関法の任意アレイへの適用可能性

山本英和、岩本鋼司、斎藤徳美、立花政宜

(岩手大学工学部)

Can Spatial Autocorrelation Method be Applied to Arbitrary Array Shape ?

Hidekazu YAMAMOTO, Koji IWAMOTO, Tokumi SAITO and Masaki TACHIBANA

(Faculty of Engineering, Iwate University)

1.はじめに

微動に含まれる表面波の分散現象を利用して地下構造を求める手法には知られているものとして、周波数-波数解析法(F-K法)、空間自己相関法(SAC法)がある。また最近の報告の中で、同じアレイ配置ならばF-K法よりもSAC法の方がより深い構造の探査が可能であることが言われているにもかかわらず、良く利用されているのはF-K法の方である。それはF-K法は観測時の地震計配置が任意でよいのに対して、SAC法は同一円周上に均等に地震計を配置しなければならないという厳しい制約があるためである。この制約をなくすための一つの提案が、北大グループによる拡張空間自己相関法(ESAC法)として示されている(凌, 1994)。今回の研究はこのESAC法の考え方を基本としながら、半径方向にずれたアレイに対してのシミュレーションを行うことによって、位相速度推定の際の改善法を導き出し、実際の観測に適用してみることで、さらにSAC法の任意アレイへの適用可能性を広げようとするものである。ここでは半径方向の検討のみを行っているが、別紙で円周方向に変化させたときの検討を行う。

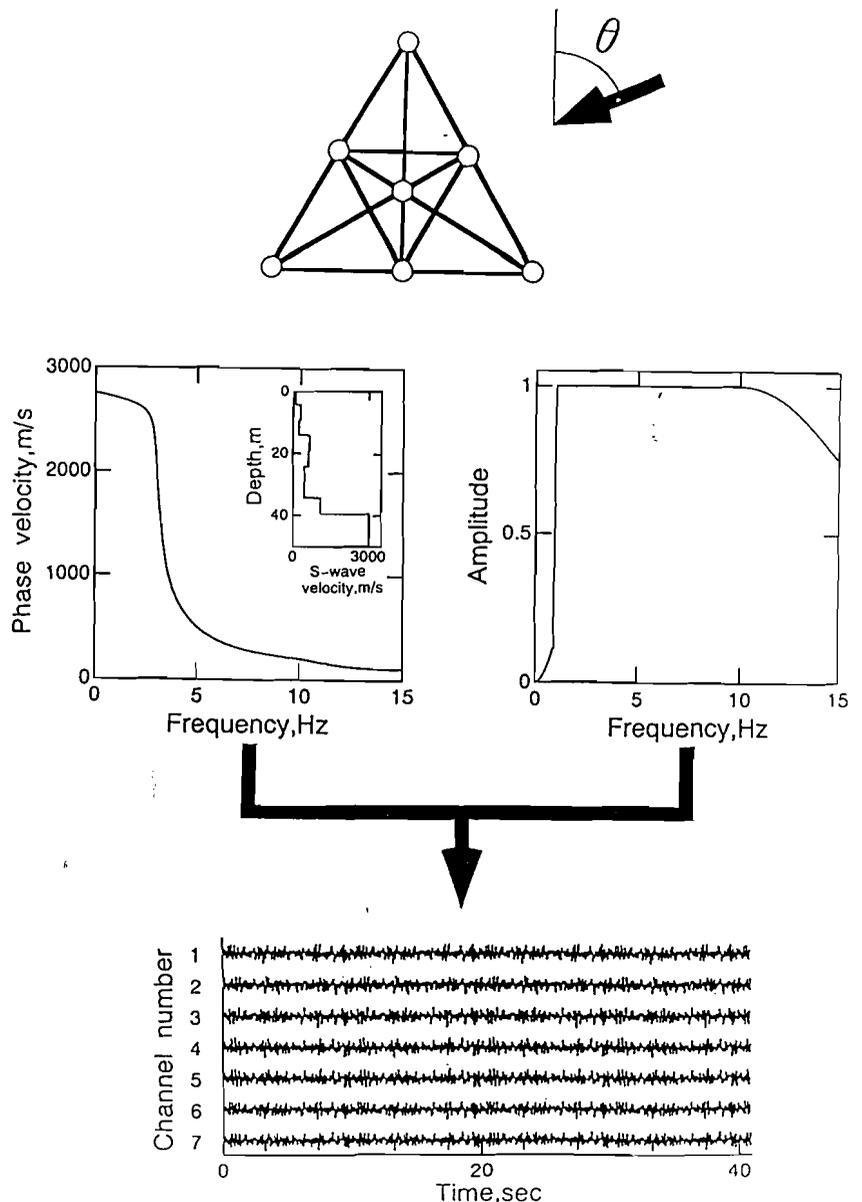


図1 シミュレーションデータ作成のフローチャート。今回のシミュレーションでは北から θ の角度で平面波が7点の地震計からなる三角アレイに到来する場合を考える。地下構造モデルから計算される位相速度から各地震計間の位相差を周波数ごとに算出し、その時の振幅は1Hzから10Hzの範囲で一定とし、逆フーリエ変換により各地震計で観測されるべき波形を求める。

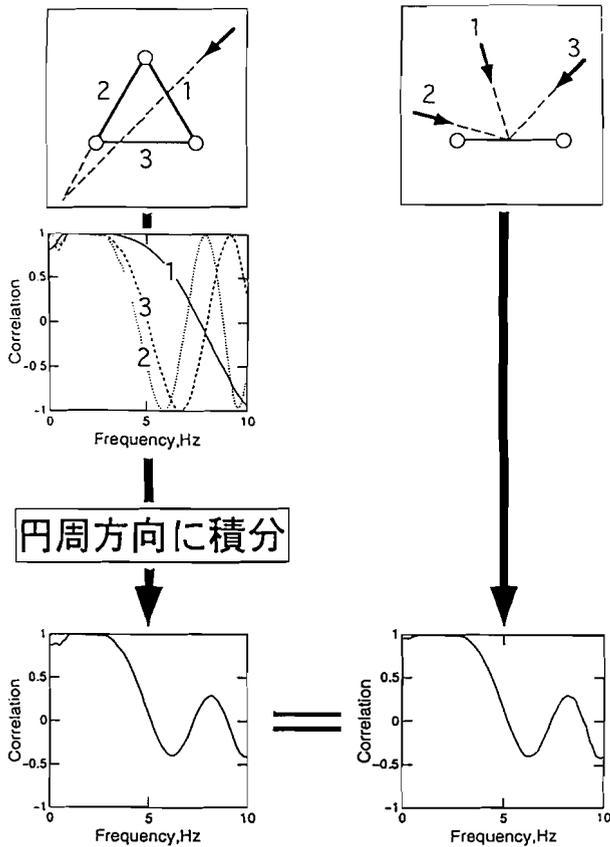


図2 改善法的前提. 左図は三角アレイに対して一方向から平面波が到来した際の平均した空間自己相関関数. 右図は2台のみの地震計からなるアレイに対して3方向から平面波が到来したときの空間自己相関関数.

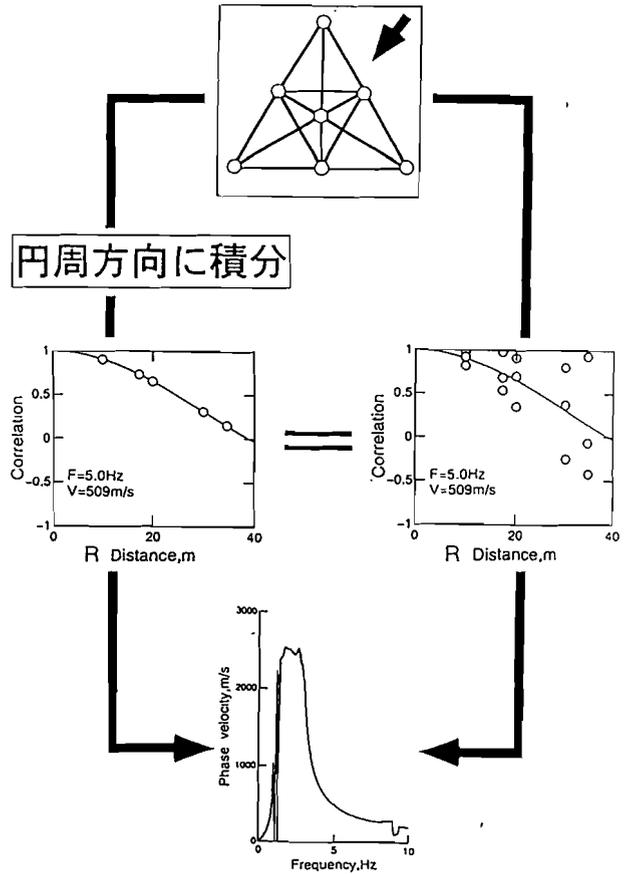


図3 単一方向入射の場合の従来のSAC法と改善法の比較. この場合, 空間自己相関係数は異なるようにみえるが, どちらの手法を用いても位相速度は同じ値となる.

2. シミュレーションのためのデータ作成

シミュレーションを行うにあたって, まず最初に微動データの作成を行った。これは図1に示す様に, 初期条件としてある構造におけるレイリー波の位相速度・地震計配置・到来方向・各周波数における振幅を与えることで, 各地震計間の位相差を計算し, 逆フーリエ変換を行うことで微動データを作成する。地震計配置は, 図1に示すような重心-頂点を半径とする7ch配置である。

3. 改善法的前提となる仮定

今回提案する改善法は, 従来のSAC法の解析手順の中にある同じ地震計間隔で得られた空間自己相関関数を平均するという手順を無くし, それぞれの地震計間隔で得られた空間自己相関関数をそのままBessel関数にFittingさせるものである(以下では, 従来法による平均化された空間自己相関関数を平均関数, 改善法による平

均していない関数を改善関数と呼ぶ)。三角形アレイに単一方向から波が入射する場合の平均関数と, 2台の地震計に三角形アレイに入射する波と同一の入射角を持つ波が入射する場合の改善関数は等しくなる。これを模式図で表すと図2のようになる。つまり波が多方向から入射するのであれば, 一組の地震計に対して, すでに円周方向に積分する効果が現れているので, 円周方向に空間自己相関関数を平均する必要はないと考えることができる。

4. 単一方向入射の場合の検討

そこでまず, 単一方向から波が入射する場合の, 従来のSAC法と改善法のシミュレーションデータを用いた検討を行った。データ作成時の初期条件は, 半径50mの7chアレイと, 北から45度の入射角を持つ単一方向の波である。解析結果を図3に示す。従来法の空間自己相

関係数は平均されているので、当然、ある半径に対しては一つの値しか持たず、Bessel関数のFittingもうまくいっている。一方、改善法の空間自己相関係数は、ある半径に対して複数の値を持ち、その値もばらついているように見える。しかし得られた位相速度は、5Hzでは共に509m/sと同じ速度が求められており、その他の周波数でも全く同じ値が求められている。これはBessel関数のFittingを、最小自乗法を用いて行うためである。

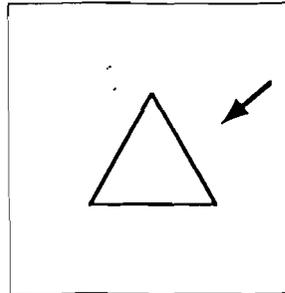
5.波の入射個数の検討

次に波が単一方向から入射する場合と、多方向から入射する場合の改善法を用いた検討を行った。その解析結果を図4に示す。これも先ほどの4と同様に、ほとんどの周波数帯で同じ位相速度が得られているが、多方向入射の場合の方がより高周波まできれいに求められている。また、それぞれの周波数の空間自己相関係数を比べてみると、多方向入射の方がバラツキが少なくなっている。これは3で示した仮定の証明にもなっているが、波が多方向から入射する場合、一組の地震計に対してすでに円周方向に平均した効果が現れているためだと考える。

6.任意アレイ配置での検討

そこで任意アレイに対しても、同様の好ましい結果が得られるのかを検討した。データ作成時の初期条件は、正三角形の頂点の一つを半径に対して外側に20%ずらしたアレイに、単一方向と多方向から波が入射するというものである。解析結果を図5に示す。単一方向から波が入射するときは、空間自己相関係数が明らかにばらついており、位相速度もデータ作成時の初期値とは違っている。対して多方向入射の場合は、空間自己相関係数のバラツキは少なく、位相速度もデータ作成時の

(1方向)



(多方向)

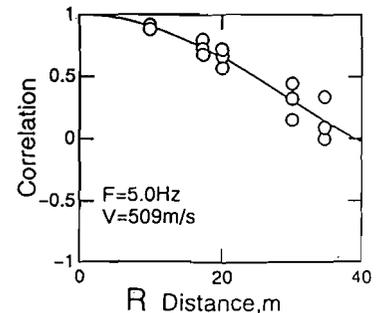
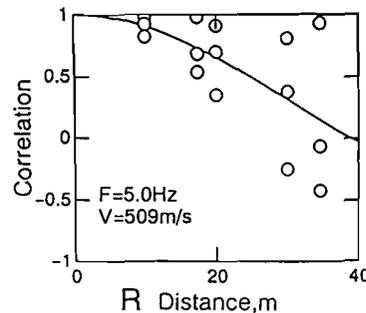
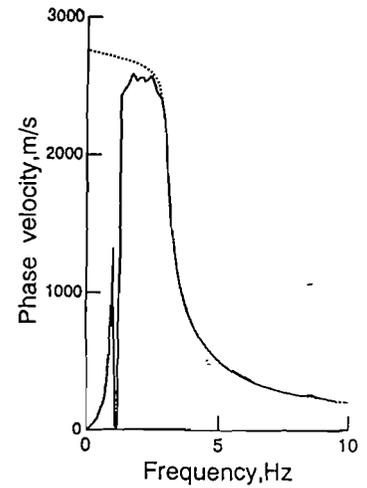
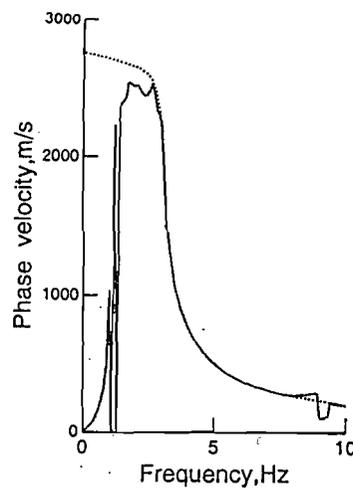
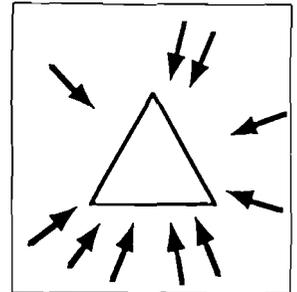


図4 シミュレーションデータを用いたときの改善法を適用する場合の波の入射個数の検討。三角アレイに対して平面波が一方向から入射する場合（左図）と多方向から入射する場合（右図）。点線が理論位相速度、実線が計算された位相速度。一方向の場合、同じ地震計間隔での係数はばらついているが、多方向の場合、係数のばらつきは少ない。しかし、どちらも最適Bessel関数は同じ形を示し、求められる位相速度もほぼ等しい。

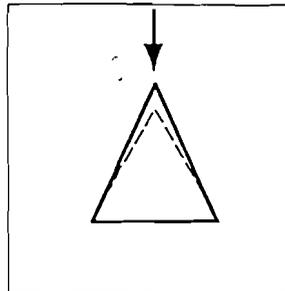
初期値とほぼ等しい。この両者の結果の違いは、空間自己相関係数を比べれば明らかで、単一方向入射では円周方向に平均される効果がないために、その係数がFittingに対して悪影響を及ぼしているためと考えられる。

以上の検討から、改善法を用いるには多方向から波が入射するという条件が付くことになる。しかし、短周期微動の場合、市街地などでは単一方向だけから波が入射するという事は考えられず、市街地など広い観測エリアがない地点で地下構造を求めようとする場合には、有効な方法になると考えられる。

7. 観測データに対する適用

そこで実際に、盛岡市の中心部にある仁王小学校で観測を行った。この観測地点は、深夜でも比較的交通量も多く、回りが道路で囲まれているので波が多方向から入射するという条件には適合する。F-K法を用いて解析した、実際の波の到来方向を図6に示す。観測アレイの形状と、解析結果を図7に示す。アレイは、正三角形の頂点の一つを半径に対して内側、外側にそれぞれ20%ずらしたもので、半径は50m、20mである。5Hzでの空間自己相関係数を見てみると、同じ地震計間隔ではバラツキが少なく、図6と同様にこの観測地点では波が多方向から入射していることがわかる。また得られた位相速度は、同時に観測した正三角形アレイとほとんど変わることない結果が得られた。この結果から、市街地のような波が多方向から入射する場所の解析には、改善法が使用できることが言える。

(1方向)



(多方向)

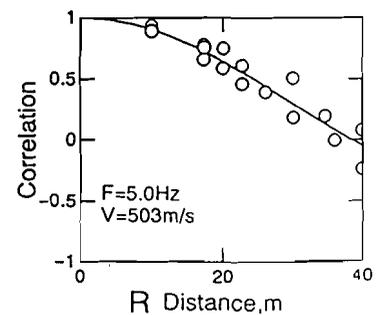
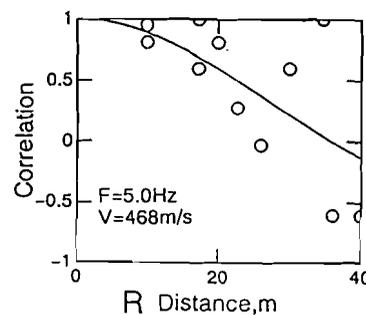
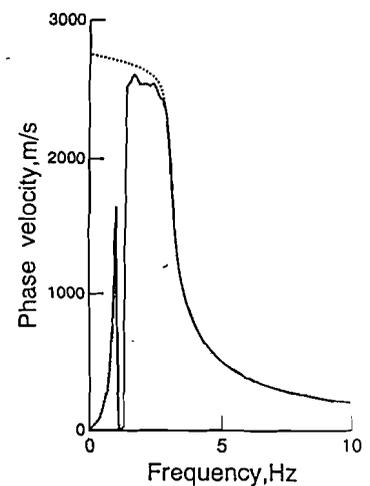
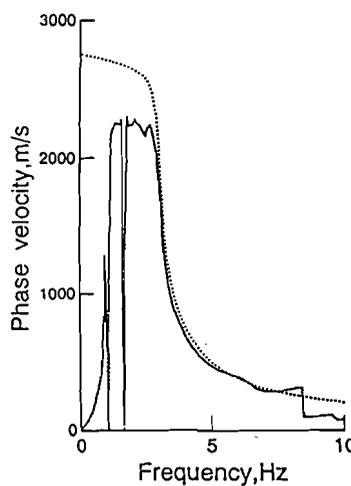
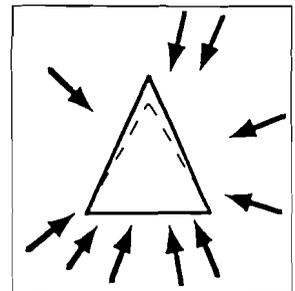


図5 シミュレーションを用いたときの改善法を任意アレイに適用した場合の波の入射個数の検討。三角形の頂点の一点を半径に対して外側に20%ずらしたアレイに平面波が一方から入射する場合(左図)と多方向から入射する場合(右図)。一方の場合、求められる位相速度は理論値に一致しないが、多方向の場合はほぼ理論値に一致する。

8.まとめ

以上の検討から、市街地のような波が多方向から入射する地点には、提案する改善法が適用できることが言える。改善法が適用できれば、空間自己相関関数を円周方向に平均する必要がない、すなわちSAC法の円周方向均等配置という制約はなくなり、任意アレイに対してSAC法を適用できるということが言える。またSAC法を任意アレイに適用できれば、市街地のような観測の際の制約が厳しい地点の構造推定に、微動探査法を利用する利点がより大きくなるものと考えられる。

参考文献：凌 甦群，北海道大学博士論文，1994.

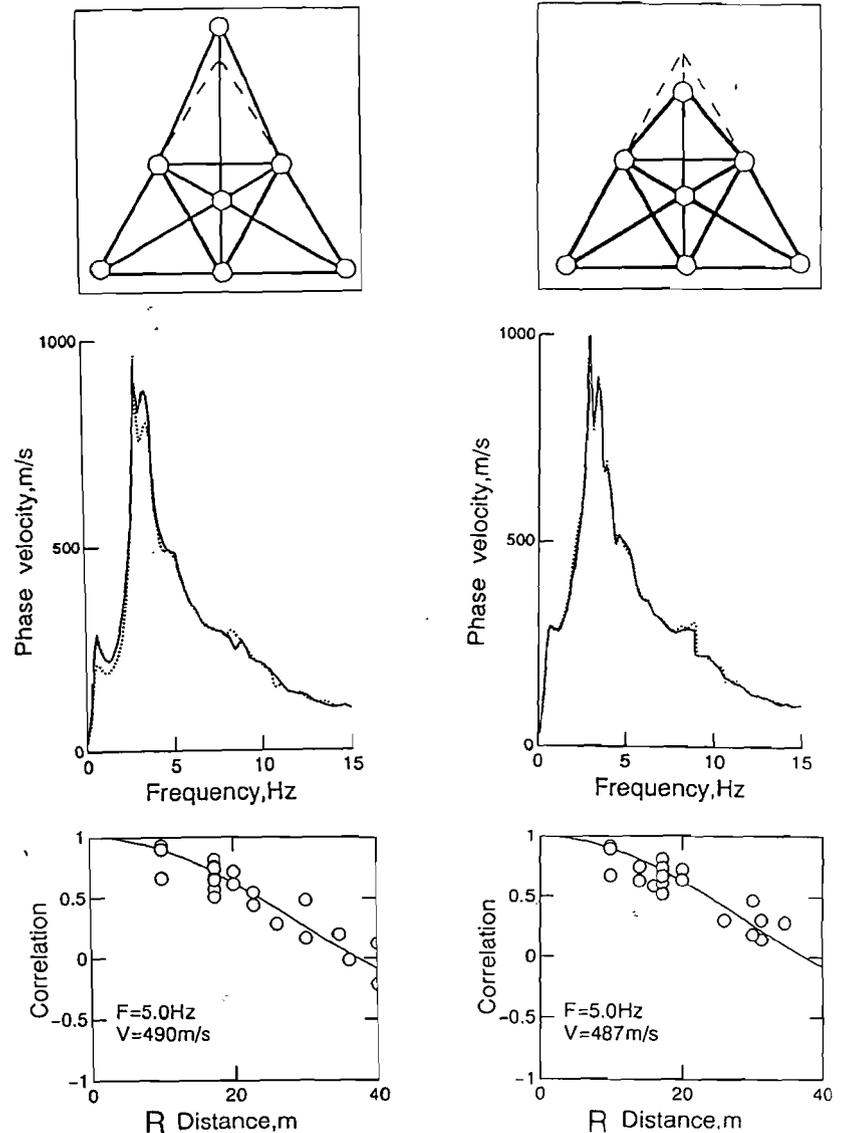


図7 仁王小学校で観測された微動データに改善法を適用した結果。三角形の頂点の一点を半径に対して外側に20%ずらした場合（左図）と内側に20%ずらした場合（右図）。点線が正三角アレイによる位相速度、実線がずらしたアレイによる位相速度。いずれの場合の位相速度も、完全な形の三角アレイで求められた位相速度とほぼ一致する。空間自己相関係数のばらつきは少なく多方向から波が到来していることを示している。

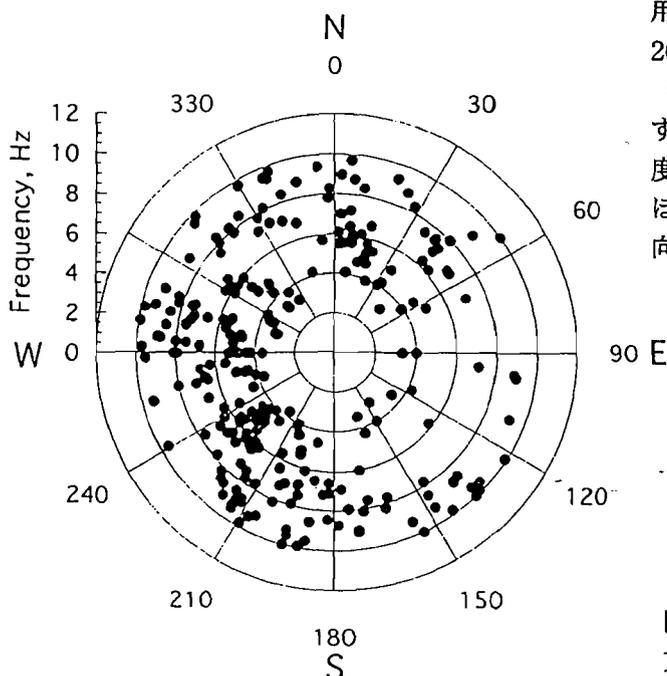


図6 仁王小学校で観測された微動のF-K法による到来方向。ほぼ全方位から波が到来していることがわかる。