E011-P014 **時間：5月29日　17:15-18:45**

重みつきスタッキング法によるアクロス受信信号のSN比の向上

Weighted Stacking Method for Received Signals in ACROSS system

長尾　大道[1]，中島　崇裕[2]，熊澤　峰夫[3]，國友　孝洋[4]
Hiromichi Nagao[1], Takahiro Nakajima[2], Mineo Kumazawa[3], Takahiro Kunitomo[4]

[1] サイクル機構・東濃，[2] サイクル機構・東濃地科学センター，[3] ＪＮＣ・東濃，[4] サイクル機構
[1] Tono, Nuclear Cycle, [2] Tono Geoscience Center, JNC, [3] Tono, JNC, [4] JNC

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センターおよび名古屋大学を中心に開発研究が進められているアクロス（Accurately Controlled Routinely Operated Signal System）は、電磁波もしくは弾性波の人工信号を用いた新しい地下モニタリングシステムである。振幅および位相を精密に制御した信号を地上の送信機から送信し、屈折や反射を繰り返しながら地下を通過してきた波をいくつかの受信点で記録する。そして送受信点間の伝達関数を求め、それを解析することによって地下のスタティックな構造、あるいは状態の時間変化を推定しようというものである。

大きなSN比を持つ伝達関数を得るために、アクロスでは同一波形の信号を繰り返し送信し、ノイズレベルがスタッキング時間の平方根に反比例するという理論予測のもとに受信信号のスタッキング処理を行なっている。これが長期間安定して行なえるようなハードウェアを設計製作するために、格段の投資を行なってきた。また、送信信号を離散的なラインスペクトル群とし、各ラインスペクトル間に観測ノイズを推定するための周波数チャンネル（ノイズチャンネル）を設定できるようにしてある。アクロスにおいては、送信信号のあるシグナルチャンネルにおけるSN比は、そのシグナルチャンネルの振幅スペクトルと、シグナルチャンネルに近い周波数帯におけるノイズチャンネルの振幅スペクトルの二乗平均根の比で推定する。これまでは連続的に取得した時系列データを一定の時間区間（セグメント）に分割し、それらの単純な平均操作によるスタッキングが行なわれてきたが、これによってスタックデータのSN比がスタック回数の平方根に比例して向上するためには、(1)ノイズがガウス分布に従うこと、(2)観測期間中はノイズレベルがほぼ一定であること、の2つの仮定が成り立っている必要がある。送信信号を狭い周波数領域で数本のラインスペクトルが立つように設計するアクロスの場合、その周波数範囲内ではノイズレベルはほぼ一定であるので、仮定(1)は成り立っていると考えて良いが、昼夜を問わず長期間にわたって連続送信し続けることを考慮すると、仮定(2)は成り立っているとは言えない。ノイズレベルが大きい昼間のデータをスタッキングしてしまうと、せっかくそれまで向上してきたスタックデータのSN比を下げてしまうことになる。

そこで本研究では、受信信号のスタッキング処理法として重みつきスタッキング法を取り入れることにより、どんなにノイズレベルが大きい受信信号をスタッキングしてもスタックデータのSN比を下げず、かつ効果は小さいながらもSN比が向上するようにした。スタックデータのSN比を最大にするには、セグメントの長さを最適化する問題と、各セグメントにかける重みの大きさを最適化する問題とがあるが、現状の観測形態を考慮して本研究ではセグメントの長さを一定にし、後者の問題のみを考えることにした。この場合、各セグメントにかける最適重みは、そのセグメントに含まれるノイズの分散に反比例することが導かれる。重みつきスタッキング法の有効性を示すために、正弦波シグナルの振幅が1、初期位相0、周波数1.1Hz、セグメント長100秒、セグメント数100個、サンプリング周波数1kHzの合成データに対して、重みつきスタッキング、単純スタッキング、夜間スタッキング（ノイズレベルが小さい夜間のみのスタッキング）を行なった場合に得られるスタックデータのSN比を理論的・数値的に求めて比較した。昼間のノイズレベルが夜間の1倍、2倍、10倍、100倍の場合について試したところ、ほぼ理論値通りのSN比の時間変化が得られることが確認でき、かつ重みつきスタッキング法が最も大きなSN比を得られることが分かった。特に単純スタッキングの場合は、昼間のデータをスタックしたときにSN比を大きく下げることも確認できた。また、昼間のノイズレベルが夜間の10倍を越えると、重みつきスタッキング法と夜間スタッキング法のSN比の稼ぎ方にほとんど差はなくなるものの、2倍のときには、夜間スタッキングは昼間にSN比を稼げないために、重みつきスタッキングにかなりの差をつけられてしまうことも示された。

岐阜県東濃地区で行なわれている電磁アクロス送受信テストのデータに対して同様の数値スタッキング処理実験を行なってみたところ、やはり重みつきスタッキング法が最も大きなSN比を持つスタックデータを得ることが分かった。電磁場では、昼間のノイズレベルは夜間の数倍程度であることから、単純スタッキング法はもちろん、昼間にSN比を稼げない夜間スタッキング法と比べても重みつきスタッキング法の有用性が高い。重みつきスタッキング法の採用により、昼間に得られた観測データがスタックデータのSN比向上に貢献するため、アクロスが昼夜連続運転をすることがどんなノイズ環境下でも意義づけられることにもなる。