

EPOS のプレート間すべり推定処理

中村浩二*

地震火山部地震予知情報課

The software in EPOS for estimation of interplate Slip

Kouji NAKAMURA*

1. はじめに

気象庁の地震活動等総合監視システム(以下, EPOS)の重要な機能の一つは, 東海地域に展開されている地殻変動観測網のデータを監視し, 東海地震の前兆現象を捉えることにある。監視は, 個々の観測点のデータ(体積ひずみ計なら体積ひずみ, 多成分ひずみ計なら, それぞれの成分)の階差データ(時間間隔は1時間, 3時間, 24時間など)が, その観測点のノイズレベルと比較して大きいか否かを基にして行われる。すなわち, ノイズレベルと比べて大きな変化であればあるほど, 通常起こりうる現象の範疇を超えた“異常”な現象である可能性があるという考え方である。ここで言うノイズレベルの概念とその算出方法については, 小林・松森(1999)に詳しい。

2004年1月から運用の始まった新しい東海地震に関する情報体系(東海地震観測情報, 東海地震注意情報, 東海地震予知情報)も, EPOSで監視しているひずみ計の異常の度合い(レベル2以上の観測点が何点あるかなど)と対応するようになっていいる。しかしながら, 個々のひずみ観測点の異常変動を検出するだけでは, 肝心の東海地震の前兆であるかどうかは分からない。特に複数点で異常な地殻変動が観測された場合には, それらの原因が東海地域のプレート間のすべりであると判断できるか否かが異常監視・情報発表のポイントとなる。

この判断を助ける道具として, プレート間すべり推定ツールが開発された(中村・竹中, 2004)。プレート間すべり推定ツールは, 東海地域のプレートモデルと理論地殻変動計算プログラムを用いて, 与えられた条件(各観測点の地殻変動量)を満たすすべりがプレ-

ート間に存在するかどうかを判定するプログラムである。

EPOSの監視により, 異常な地殻変動が検出された場合には, このプレート間すべり推定ツールによるプレート間すべりの検索と, 時系列フィッティングツールによる時系列関数系のパラメータ推定によって, 前兆すべりか否かの判定が行われる。

このプレート間すべり推定ツールはPC上のプログラム(Windows用ソフト)であり, 条件入力から検索作業まで, すべての作業に人間の作業が必要となる。地殻変動データの解釈は, 一般にむづかしく, 今すぐこれらの作業の全てをEPOSの中の自動処理として組み込むことは困難である。しかしながら, 将来のより高度な監視機能の実現のために, プレート間すべり推定ツールの主な処理を2004年度にEPOSに組み込み, 簡易的なプレート間すべり自動推定処理を開始した。これらの処理は, 現在のEPOS(第3世代)の運用開始(2003年10月)後に, 気象庁独自ソフトとして組み込まれたものであるので, ここにその概要を記す。

2. 処理の概要

EPOSにおけるプレート間すべり自動推定処理の流れは, 各観測点の異常監視の結果にもとづく起動条件判定処理, 観測点選別等の前処理, プレート間すべり検索処理, 判定結果の後処理の4つに分かれる。このうち, 起動条件判定処理は, EPOSの地殻サーバーの両系でUNIXのcronによって定時起動されているが, その後の処理に進むのは, 運転系サーバーでなおかつ, 起動条件(後述)を満たした場合のみである。

以下, 各処理の概要を記す。また, 処理の流れと関連する主なプログラムを図1に示す。

*地震火山部地震予知情報課

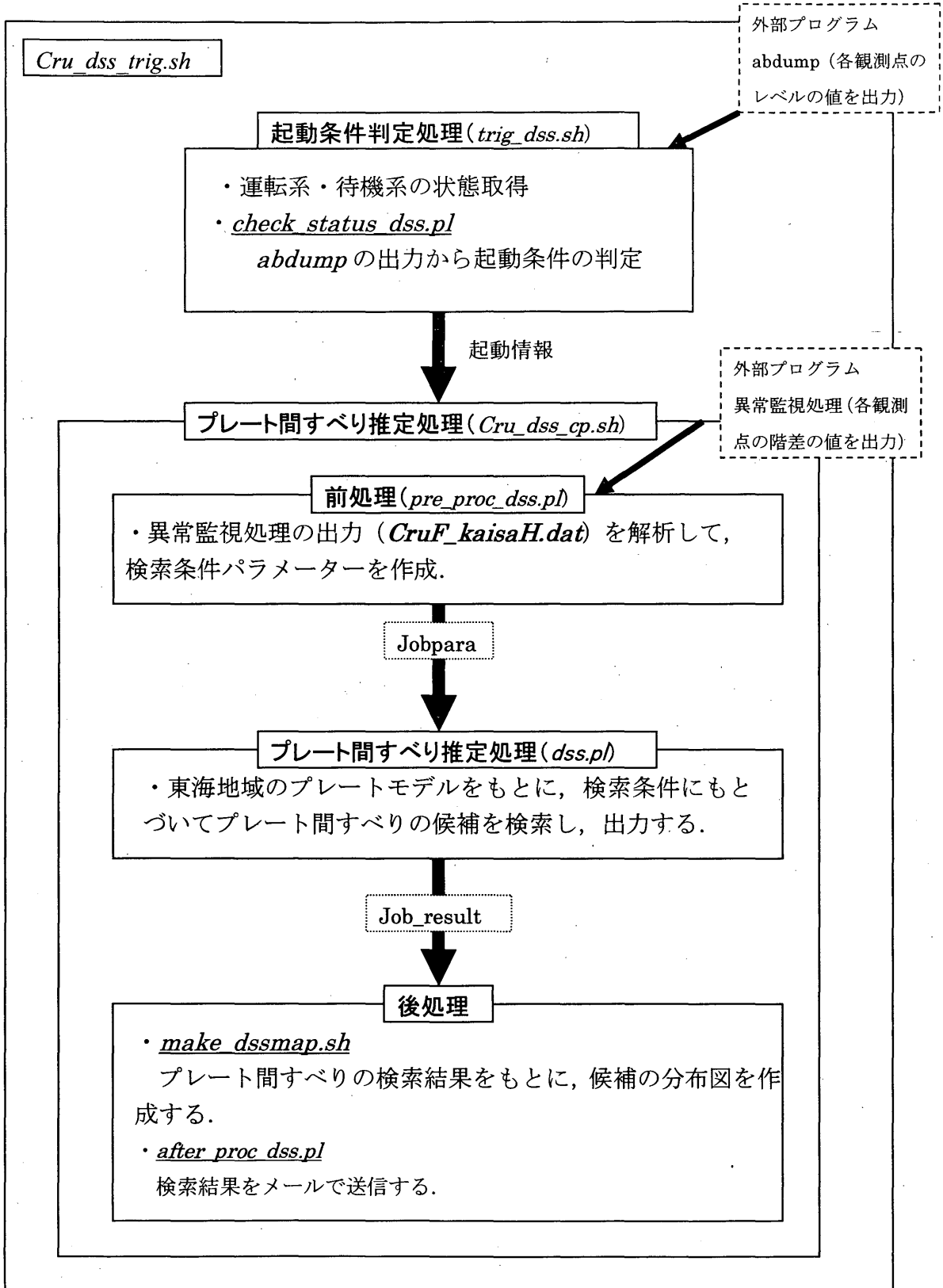


図1 処理の流れ

```

# プレスリップ検索パラメータ
#
# 検索範囲
lat_min:34
lat_max:35.5
dlat:0.1
lon_min:137
lon_max:138.5
dlon:0.1
mag_min:5.5
mag_max:6.5
dmag:0.1
#
# 歪の範囲
# 2004年08月18日14時33分時点のデータをもとにして
# 24時間階差を使用しています。
N:富士:1,6.45e-01,-1.16e-07
N:川根:1,1.90e-01,-3.80e-08
C:石廊崎: 2.0e-08, 8.0e-08,1,8.89e-01,4.00e-08
N:御前崎西:1,4.07e-01,6.52e-09
N:藤枝:1,1.73e-01,3.46e-09
N:掛川 1:0,2.22e-02,7.78e-10
N:掛川 2:0,9.01e-02,7.84e-09
N:掛川 3:0,6.39e-02,4.22e-09
N:蒲郡:1,4.44e-01,-2.22e-08
N:土肥:1,2.44e-01,6.59e-09

. . . . . (途中省略) . . . . .

N:浜北 1:0,1.01e-02,4.33e-10
N:清水:1,1.83e-01,-3.84e-08
N:佐久間 1:1,2.12e-01,3.40e-09
N:天竜:1,3.42e-02,-4.45e-09
    
```

緯度, 経度, M の検索範囲 (最小値, 最大値) と検索間隔を指定

検索条件に使用する観測点については, “C”をヘッダーとして, 後に観測点名, 最大値, 最小値, 降水フラグ, レベル定数 (階差値 / ノイズレベル), 階差値

検索条件に使用しない観測点については, “N”をヘッダーとして, 後に観測点名, 降水フラグ, レベル定数 (階差値 / ノイズレベル), 階差値

図2 条件パラメータファイルの一例

2. 1 起動条件判定処理

起動条件判定処理は、EPOS の地殻サーバーの両系 (echohq01,echohq02)で cron によって定時起動 (1 時間に 1 回) されている。起動条件の一つは、サーバーが運転系であることで、Get_mode (サーバーの状況を取得する関数) の出力によって判別している。

もう一つの起動条件は、各観測点の状態を元にしたもので、以下の条件である。

- ①前回到起動条件判定した際の各観測点のレベルの状態と、今回の状態との比較で変化がある。
- ②レベル 2 以上の観測点が 1 点以上ある。
- ③近接する 3 点以上でレベル 1 以上である。

①の条件は、状態の変化 (レベルの数字の上下など) を捉えるとともに、状態に大きな変化がない場合には、同じ処理を何度も起動しないという条件でもある。①と②、もしくは①と③を満たす場合に起動条件が満たされる。なお、各観測点のレベルの状態は、abdump の出力を元に判定している。

2. 2 前処理

2. 1 の起動条件判定処理の結果、起動条件が満たされた場合には、プレート間すべり自動推定のための前処理が起動される。前処理では次に記すプレート間すべり検索処理のための条件(使用する観測点の選別、階差値の取得など)の選定とその出力を行う。

まず、異常監視が定期的に出力する各観測点の階差値のファイル (/jma/data/CruF_kaisaH.dat) を読み込み、それぞれの観測点での階差値とノイズレベルとを比較する。そして、ノイズレベルに比べて 0.7 倍以上の変動を示した観測点を、使用観測点として選択する。なお、現在は 24 時間階差値のみを使用している。24 時間階差値の場合、レベル 1, 2, 3 はそれぞれノイズレベルの 1 倍, 1.8 倍, 2 倍にあたる。

使用観測点として選択された観測点については、使用フラグ (行頭に C の文字) を付加した上で、検索条件 (地殻変動量の最小値と最大値) を条件パラメータファイルへ出力する。最小値, 最大値は、階差値の 0.5 倍, 2 倍 (大小は階差値の正負による) をもとに設定している。プレート間すべりの検索は、この最小値と最大値の間に、ひずみの計算値が入るか否かをもとに行われる。なお、参考のために不使用となった観測点

についても、不使用フラグ (行頭に N)をつけて、階差値などが出力される。(図 2)

各観測点の地殻変動量の最小, 最大のほかに、プレート間すべりの検索領域 (緯度, 経度の範囲), 格子点間隔, 検索する M の範囲などの条件も同時に出力されるが、これらについては現状では次のような値に固定されている。緯度と経度の範囲は北緯 34.0~ 35.5 度, 東経 137.0~138.5 度, 格子点間隔は緯度, 経度それぞれ 0.1 度, M の範囲は 5.5~6.5 で, M の検索間隔は 0.1 である。

2. 3 プレート間すべり検索処理

2. 2 の前処理で作成された検索条件パラメータを読み込んで、プレート間すべり検索処理が行われる。プレート間すべりの検索の原理は、中村・竹中(2004)と同じで、理論地殻変動計算には Okada(1992) を使用している。

この処理によって、検索条件を満たしたプレート間すべりの候補が、出力される。それぞれの候補について、緯度, 経度, 深さ, 規模 (M)が出力されるようになっていく。

2. 4 後処理

2. 3 で出力されたプレート間すべりの可能性のある事例をもとに、分布図の作成と、結果のメール送信を行う。

分布図は、各 M 別と M すべての場合について、東海地域の検索領域内に分布するプレート間すべりの起きた可能性のある場所を赤丸 (本稿の図では灰色丸で表示) で示した図になっている。

また、プレート間すべりの可能性のある事例についての情報 (テキストと図) を電子メールで関係者へ送付するようになっていく。図 3, 図 4 はその一例。

3. 問題点など

PC 上のプレート間すべり推定ツールも EPOS のプレート間すべり自動推定処理も、検索処理の主要部分は全く同じである。異なる部分は、検索に使う観測点の選別を人間が行うか、EPOS が自動的に行うかの違いだけである。したがって、EPOS の自動推定処理の成否は、ひとえに観測点の選別方法にあると言ってもよい。

EPOSのプレート間すべり推定処理

☆☆☆ プレート間すべりの検索結果 ☆☆☆

●お知らせ

!!!! レベル3相当以上の観測点があります。(ただし異常監視の結果とは異なる場合があります)!!!!

●検索範囲

緯度 34 ~ 35.5 度 (間隔 0.1 度)

経度 137 ~ 138.5 度 (間隔 0.1 度)

M 5.5 ~ 6.5 (間隔 0.1)

●ひずみの条件

データの時刻:2004年07月30日01時33分

階差時間 :24時間

各点の条件 :

三ヶ日 最小値 $-1.4e-07$ 最大値 $-3.5e-08$ (通常) <- 観測値 $-7.08e-08$ レベル定数 2.28

蒲郡 最小値 $1.1e-09$ 最大値 $4.3e-09$ (通常) <- 観測値 $2.17e-09$ レベル定数 0.09

※レベル定数は、通常期のレベル1の値で割ったものです。目安です。

実際のレベル判定は異常監視の結果を参照してください。

●検索結果

事例 1: 緯度 34.8 度 経度 137.7 度 深さ 27.2(km) 規模 Mw 5.5 各点の変化量(計算値) 蒲郡, $1.74e-09$, 三ヶ日, $-4.26e-08$

事例 2: 緯度 35 度 経度 137.8 度 深さ 31.8(km) 規模 Mw 6.1 各点の変化量(計算値) 蒲郡, $1.19e-09$, 三ヶ日, $-1.98e-08$

事例 3: 緯度 34.7 度 経度 137.1 度 深さ 25.0(km) 規模 Mw 6.2 各点の変化量(計算値) 蒲郡, $6.66e-10$, 三ヶ日, $-5.25e-08$

事例 4: 緯度 35 度 経度 137.8 度 深さ 31.8(km) 規模 Mw 6.2 各点の変化量(計算値) 蒲郡, $1.46e-09$, 三ヶ日, $-2.66e-08$

事例 5: 緯度 35.1 度 経度 137 度 深さ 30.7(km) 規模 Mw 6.2 各点の変化量(計算値) 蒲郡, $8.16e-10$, 三ヶ日, $-3.34e-08$

事例 6: 緯度 35 度 経度 137.8 度 深さ 31.8(km) 規模 Mw 6.3 各点の変化量(計算値) 蒲郡, $1.68e-09$, 三ヶ日, $-3.53e-08$

事例 7: 緯度 35 度 経度 137.8 度 深さ 31.8(km) 規模 Mw 6.4 各点の変化量(計算値) 蒲郡, $1.68e-09$, 三ヶ日, $-4.56e-08$

事例 8: 緯度 35 度 経度 137.8 度 深さ 31.8(km) 規模 Mw 6.5 各点の変化量(計算値) 蒲郡, $1.12e-09$, 三ヶ日, $-5.66e-08$

※上の結果は、自動的に設定された条件での結果です。他の観測データの変化状況、変動の現われ方、気象要因の検討などを考慮して、精査が必要です。

※条件に使わなかった各点の階差データ

富士 観測値 $-2.99e-08$ レベル定数 0.17 (降雨)

川根 観測値 $3.94e-09$ レベル定数 0.13 (通常)

石廊崎 観測値 $6.91e-09$ レベル定数 0.15 (降雨)

御前崎西 観測値 $6.61e-09$ レベル定数 0.33 (通常)

藤枝 観測値 $4.21e-09$ レベル定数 0.47 (通常)

図3 検索結果 (メール配信される内容)

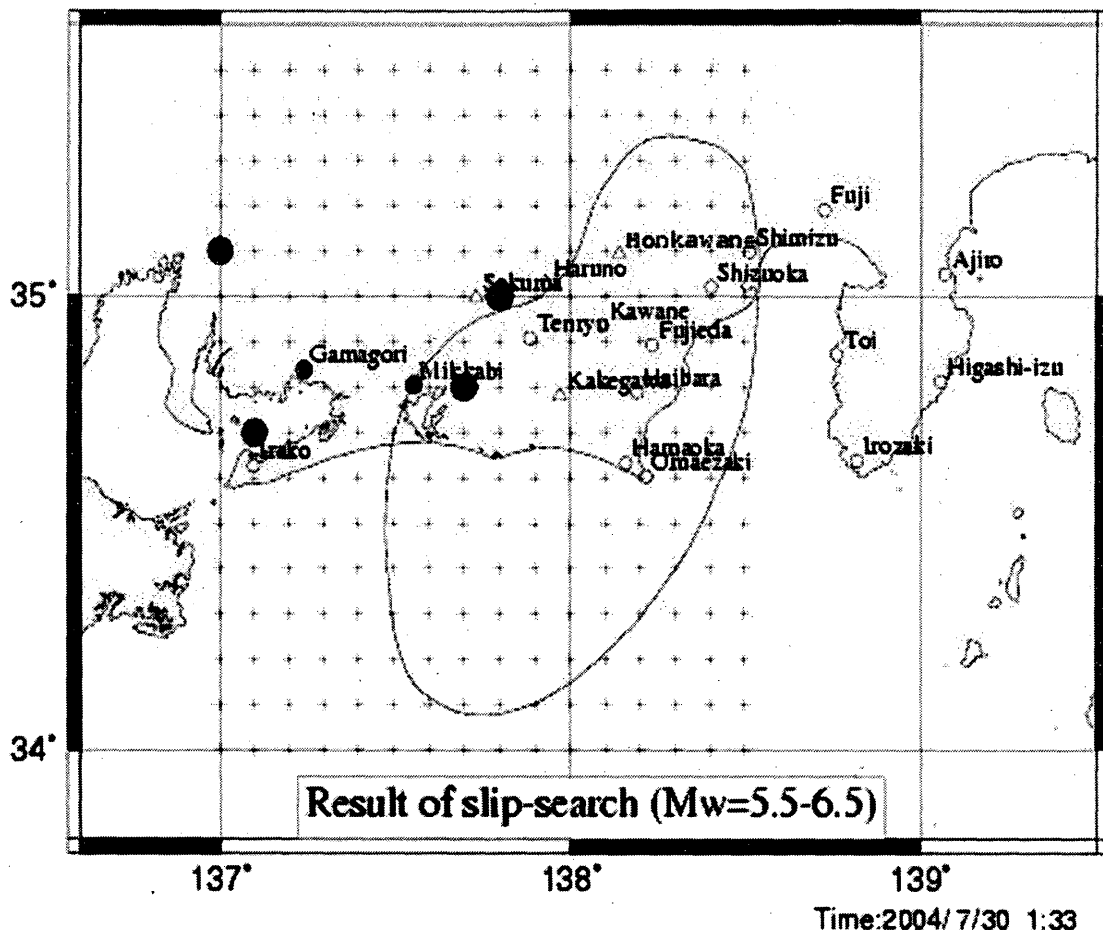


図 4 検索結果の図の例 (メール配信される図, 灰色丸がプレート間すべりの候補点)

現状では、ある程度以上の変動(ノイズレベルの0.7倍以上)を観測された観測点だけを検索条件に使用している。これは、ひずみの階差値からは“変動がある”ということは容易に分かるが、“変動がない”ということは自動的に判定することが困難なためである。したがって、現在のところは検索条件を厳しくして見逃しを犯すことを避けるため、EPOSの自動推定処理では、“変動がある”という情報だけを使い、“変動がない、小さい”という情報を使わない。そのため、可能性事例が多数出てくることになる。1点のみが変化している場合については、近傍の観測点を無条件で条件に加えることによって、このような弊害を軽減しているが、根本的な解決には至っていない。

このような論理でも、実際にある程度の規模の前兆すべりが発生した場合は、複数の観測点で有意な変化が期待されるため、EPOSのプレート間すべり自動推定処理がうまく機能することが期待される。しかしながら、上記のような理由で、大部分の時間を占める

“何もない期間”にも、降雨、地下水くみ上げ等によって幻の前兆すべり候補を多数つかまえることになる。そのため、この処理自体を通常の自動監視(アラームを鳴らす等)に組み込むことは現在のところ困難である。

今後は、プレート間すべり自動推定による異常監視実現のために、より高度な観測点選別手法を検討して行く。

参考文献

小林 昭夫, 松森 敏幸(1999): 埋込式体積歪計のノイズレベル調査及び異常監視処理, 験震時報, **62**, 17-41.
 中村 浩二, 竹中 潤(2004): 東海地方のプレート間すべり推定ツールの開発, 験震時報, **68**, 25-35.
 Okada, Y. (1992): Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am., **82**, 1018-1040.

補 遺

1. プログラムの構成（テーブル）

プログラムは UNIX 上の Perl スクリプトと、shell スクリプト（B シェル）で構成されている。プログラムの主な機能は以下の通り。なお、プログラムはすべて/jma/bin にある。

プログラム名	処理	主な機能	関連するプログラム	読み書きするパラメータ
Cru_dss_trig.sh	全体		以下, 全て	
trig_dss.sh	起動条件判定	abdump の出力から各観測点の状況を見て起動条件を判定する。	check_status_dss.pl	
check_status_dss.pl	起動条件判定	前回と今回のレベルの状態を比較して起動条件が満たされているかどうか判定する。		dss_status_old, dss_status trig_dss2 trig_dss3
Cru_dss_cp.sh	前処理～後処理	プレート間すべりの自動推定	pre_proc_dss.pl dss.pl make_dssmap.sh cnv_jobpara.pl after_proc_dss.pl	
pre_proc_dss.pl	前処理	階差値をもとに検索条件を作成する。		jobpara
dss.pl	プレート間すべり検索処理	検索条件をもとにプレート間すべりの候補を検索し、出力する。		jobpara Job_result
make_dssmap.sh	後処理	プレート間すべりの検索結果をもとに、候補の分布図を作成する。	dss_makeps.p	Job_result
dss_makeps.p	後処理	プレート間すべりの検索点を、分布図上にプロットする。		Job_result
cnv_jobpara.pl	後処理	検索結果を人間が読みやすい書式に変換		Job_result
after_proc_dss.pl	後処理	結果をメールで送信する。		Job_result