

南海トラフ沿いで発生するプレート内部型中規模地震に関する津波数値解析

富岡展行*・高橋智幸**・今井健太郎***・越村俊一****

2004年9月5日23時57分にM7.4の地震が紀伊半島南東沖で発生した。震源は南海トラフ沿いに位置しているが、東南海地震の想定震源域とは異なっていた。この海域で想定されているのはプレート境界型地震であり、これによる津波被害は既に調査済みであるが、今回のような南海トラフ沿いで発生するプレート内部型の中規模地震による津波は未想定である。よって、今後の津波防災において今回のような地震津波をどのように取扱うのか検討するため、各研究機関から発表された断層パラメータを参考にして、津波の数値計算を実施した。その結果、大部分の地域でプレート境界型地震による津波の方がプレート内部型によるものより大きくなることが確認された。

1. はじめに

2004年9月5日23時57分にM7.4の地震が紀伊半島南東沖で発生した。一連の地震活動として、同日19時07分にM5.9の前震と9月6日23時58分にM6.4の余震を伴った。本震の震源は南海トラフ沿いに位置しているが、東南海地震の想定震源域とは異なる位置で発生したものであり(図-1)。発震機構は南北方向に圧力軸を持つ逆断層型で、フィリピン海プレート内部の深さ約10 kmで発生した地震であった。従来、この海域で想定されているのはプレート境界型地震であり、これによる津波被害は既に中央防災会議(2003)などにおいて調査済みである。しかし、今回の地震のような南海トラフ沿いで発生するプレート内部型の中規模地震による津波は全く未想定であった。よって、今後の津波防災において、太平洋沿岸の広い範囲で今回のような地震津波を新たに検討する必要性が示されたと考えられる。そこで本稿では、今回の地震について各研究機関から発表された断層パラメータを参考にして津波モデルを設定し、太平洋沿岸での津波の来襲状況についての数値計算を実施した。そして、従来のプレート境界型地震津波による被害想定との比較を行い、南海トラフにおける今後の津波防災においてプレート内部型の中規模地震も考慮する必要があるのか、それとも従来のプレート境界型地震のみを対象とした想定で対応できるのかを明らかにすることを目的とした。

2. 津波の数値解析

(1) 計算条件

評価範囲は千葉県銚子市から宮崎串間市までの太平洋沿岸(四国、淡路島の瀬戸内海側も含む)とした。計算領域の座標は東経128.21°から141.19°、北緯29.59°から

36.28°である(図-2)。Mansinha・Smylie (1971) の理論を用いて、各断層パラメータから津波の初期波形を求めた。津波伝播計算は線形長波理論を Staggered Leap-frog 法により差分化し、境界条件は陸側を鉛直壁、海側を自由透過とした。空間格子間隔は1350 m、時間間隔は1秒、再現時間は4時間と設定した。4時間と設定した理由として、瀬戸内海に津波が来襲した場合、複雑な地形で反射をくり返して高い波が長時間続く可能性があるためである。なお、計算の安定のため、打ち切り水深を10 mに設定してある(高橋, 2002)。

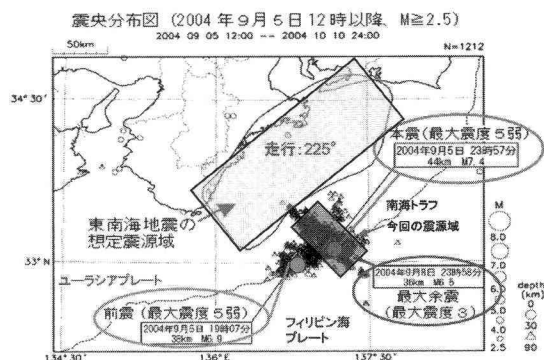


図-1 紀伊半島南東沖地震と東南海地震の関係(地震調査研究推進本部(2004)に加筆)

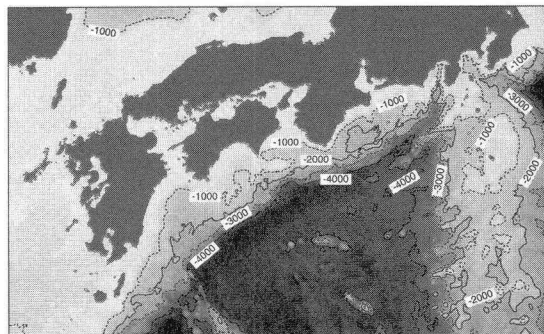


図-2 計算領域(等深線の単位:m)

* 正会員 外山産業株式会社
** 正会員 博(工) 秋田大学助教授工学資源学部土木環境工学科
*** 学生会員 修(工) 秋田大学大学院工学資源学研究所
**** 正会員 博(工) 東北大学大学院助教授工学研究科

表-1 各研究機関から発表されている断層パラメータ

	経度(°)	緯度(°)	長さ(km)	幅(km)	走向(°)	傾斜角(°)	すべり方向(°)	すべり量(m)	深さ(m)
Case 1(JMA)	136.87	33.4	60	30	111	63	65	4.2	6634
Case 2(JMA)	137.40	33.1	60	30	246	36	130	4.2	11183
Case 3(NIED)	137.40	33.1	60	30	277	52	84	1.8	8000
Case 4(NIED)	136.68	33.4	60	30	87	39	98	1.8	8000
Case 5(EIC)	136.80	33.52	60	30	135	40	57	6.5	8000

(2) 津波モデルの決定

プレート境界型・内部型地震により発生する各々の津波の挙動の比較を行うため、プレート内部型地震による津波モデルを決定する。プレート内部型地震については、2004年に発生した紀伊半島南東沖地震を想定しているため、まず、本地震による津波の再現を試みた。

a) 波源の比較

本地震について各研究機関から発表された断層パラメータを表-1に示す。Case 1と2が気象庁、Case 3と4が防災科学技術研究所、Case 5が東京大学のEIC ノート No.153 (山中, 2004) をそれぞれ参考にして決定している。いずれのモデルでも走向は緯度方向であり、南海トラフとは直交する関係になる。

各 Case から計算された津波の波源(初期波形)を図-3に示す。図中、実線は海面の隆起で、点線は沈降を表している。最も隆起の大きい波源は Case 5 であり、次いで Case 1と Case 2、最も小さかったのが Case 3と Case 4 となり、すべり量の大きさと傾斜角に対応した結果となり、特異な現象は生じていない。

b) 計算結果と検潮記録および調査記録の比較

Case 1～5の波源を初期条件として計算された汀線沿いの津波高の分布と、検潮記録および調査結果(小池ら, 2005)を図-4に示す。検潮記録および伊良湖岬から石廊崎までの現地調査結果については、計算された Case の範囲内で説明することが出来る。しかし、串本から浜島までの現地調査結果はいずれの Case においても再現されていない。本研究では、格子間隔が1350 m と粗く、紀伊半島における複雑な地形条件が反映されていない。ゆえに、複雑な実地形に対応する津波の挙動は再現されていない。したがって、これらの比較からは検潮記録と調査結果を最もよく説明できる波源を特定するまでには至らなかった。

c) 計算結果と室戸沖 GPS 津波計の比較

Case 1～5の波源を初期条件として計算された水位の時間変化と室戸沖 GPS 津波計観測記録の比較を図-5に示す。各波源の最大変位に依存して時間波形の振幅の大きさは変化している。しかし、観測記録と各波源における計算での位相は比較的類似した対応を示し、これらの比較からも再現性のよい波源の特定は困難であった。

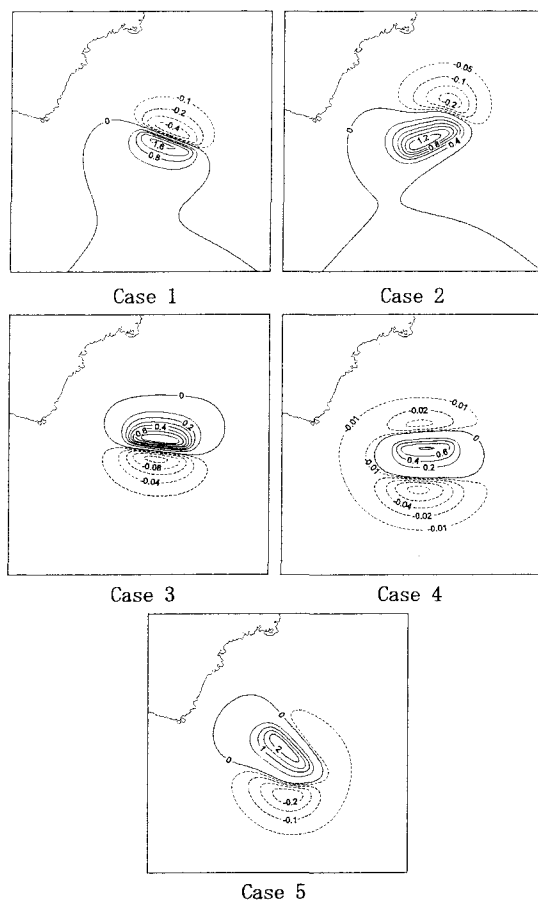


図-3 津波の波源の比較(等深線の単位:m)

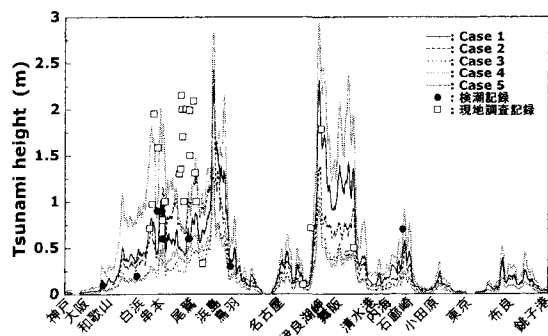


図-4 計算結果と検潮記録および調査結果の比較

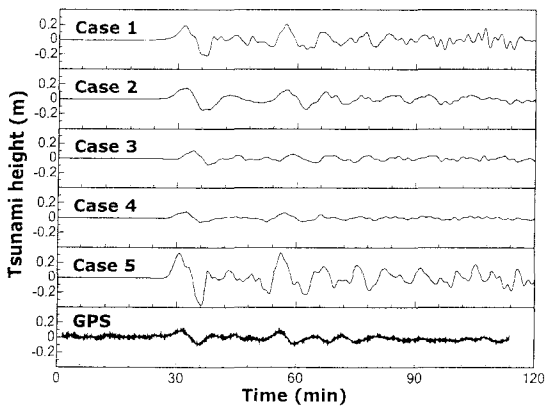


図-5 計算結果と室戸沖 GPS 津波計の比較

以上の比較から、本地震津波を再現するモデルの特定が出来なかったため、以降の被害想定においては、防災上の観点から最も危険側の計算結果となった Case 5 を採用して検討を行った。

(3) Model-A, B, C の設定

図-6 に示すように、南海トラフ上において、今回の震源から 50 km 毎に移動した位置を新たな震源として No. 0 から No. 9 までの 10カ所を設定した。各震源位置の経度と緯度を表-2 に示す。また、EIC モデルの特徴として、走向が南海トラフに対して反時計回りに 100 度で交差していることがあげられる。そこで、新たな震源でも同様な関係を維持して、断層基準点と走行角度を決定した (図-7)。これを Model-A とする。

次に、波源の鉛直方向の変位をより大きく想定するためにすべり方向を 90 度とし、より多くの津波エネルギーが陸に向かうような指向性になるように走向を南海トラフに対して平行にしたモデルも設定した。この際、陸側に海面の沈降が分布する波源を Model-B (図-8)、陸側に海面の隆起が分布する波源を Model-C (図-9) とした。なお、それぞれ No. 0 から No. 9 および Case 5 合わ

表-2 震源位置

震源位置	経度(°)	緯度(°)
No. 0	137.58	33.41
今回の震源 (EIC)	137.14	33.14
No. 1	136.65	32.95
No. 2	136.13	32.82
No. 3	135.61	32.71
No. 4	135.08	32.56
No. 5	134.63	32.32
No. 6	134.16	32.08
No. 7	133.69	31.82
No. 8	133.27	31.56
No. 9	132.85	31.27

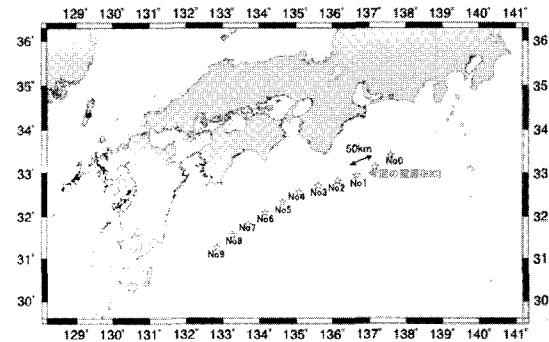


図-6 震源位置

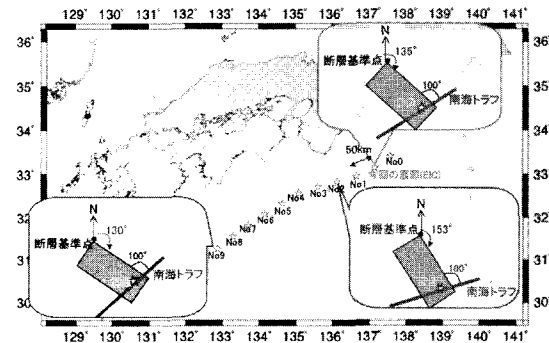


図-7 Model-A の概念図

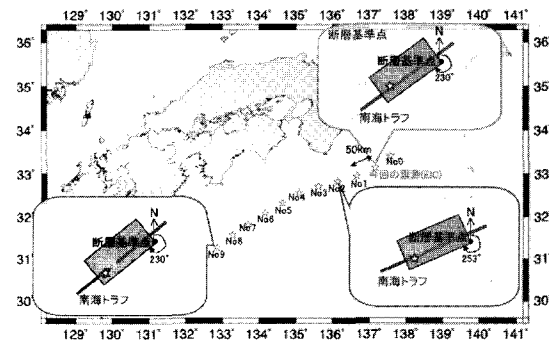


図-8 Model-B の概念図

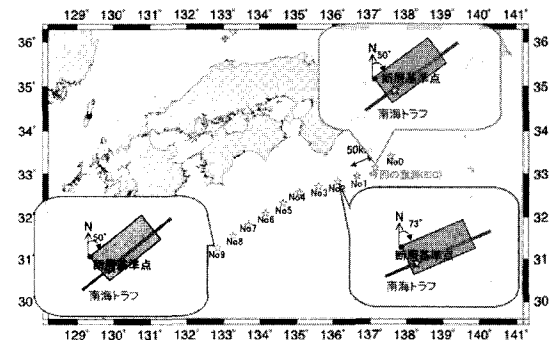


図-9 Model-C の概念図

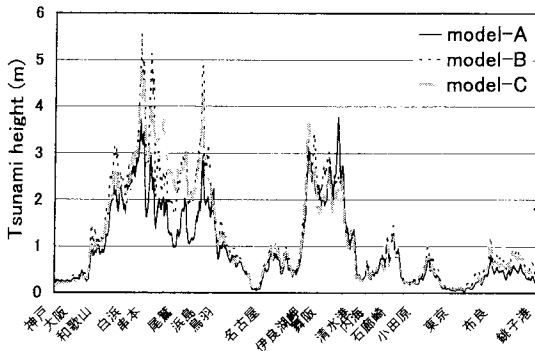


図-10 本州における Model-A, B, C の比較

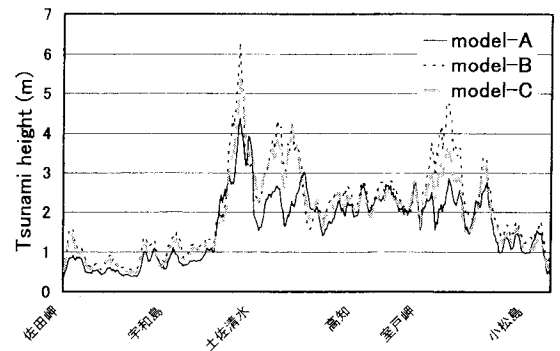


図-11 四国太平洋側における Model-A, B, C の比較

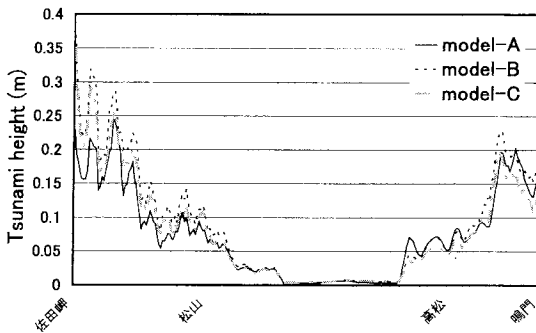


図-12 四国瀬戸内側における Model-A, B, C の比較

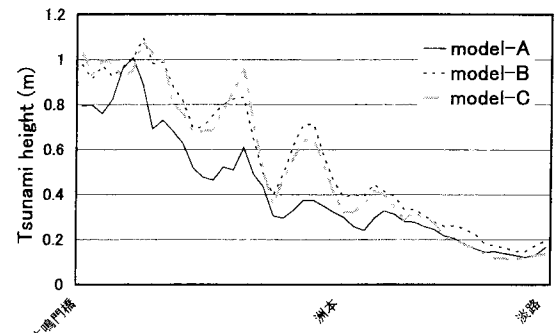


図-13 淡路島東部における Model-A, B, C の比較

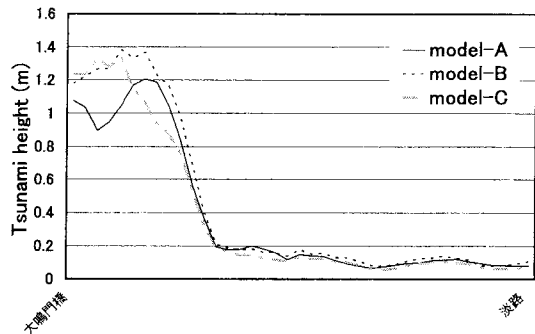


図-14 淡路島西部における Model-A, B, C の比較

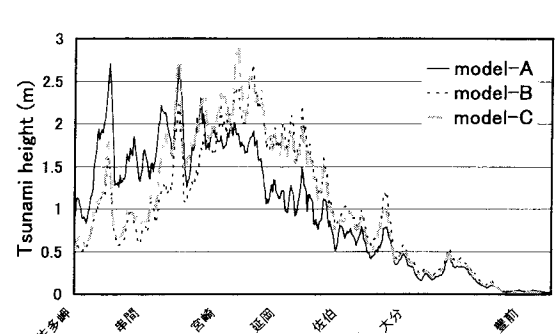


図-15 九州における Model-A, B, C の比較

せて11ヵ所に震源を設定した。

(4) プレート境界型モデルの設定

南海トラフで発生する巨大地震については多くの断層モデルが提案されており（例えば、佐藤ら、1989）、それらを用いて津波の数値計算も実施されている。しかし、現在の津波防災においては、中央防災会議（2003）の公表している津波モデルが実質的な標準モデルになっている。したがって、本研究でも防災上の観点から、中央防災会議による東海地震、東南海地震、南海地震が同時に発生した場合の地殻変動量データをプレート境界型モデルとして採用する。

3. 計算結果

(1) Model-A, B, C の比較

評価範囲を本州、四国太平洋側、四国瀬戸内海側、淡路島東部、淡路島西部、九州に分け、Model-A, B, C により計算された津波高分布の比較を図-10～15に示す。各モデルではそれぞれ11箇所の震源位置で計算を行っており、汀線沿いの各地点で最大の津波を発生させるケースを抽出している。よって、同図における各 Model の線は各地の最大津波高の包絡線を示している。

Model-B と C は、より多くの鉛直変位が発生するようなすべり方向と津波エネルギーが陸地に向かうような

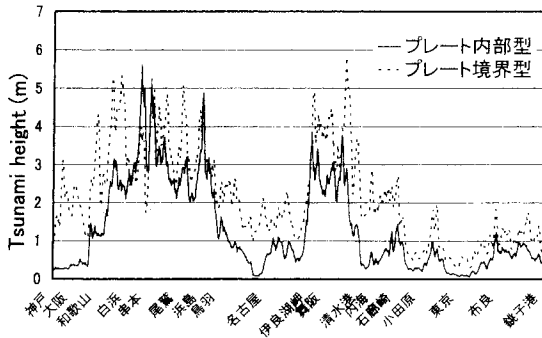


図-16 本州におけるプレート内部型モデルおよびプレート境界型モデルの比較

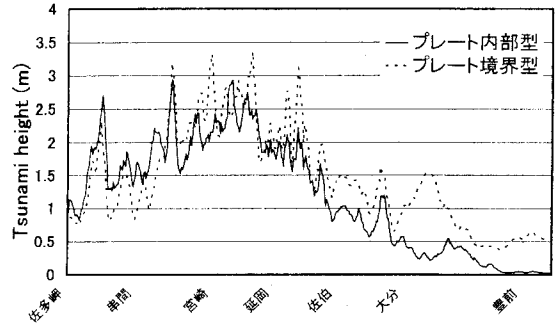


図-17 九州におけるプレート内部型モデルおよびプレート境界型モデルの比較

走向を設定しているため、ほとんどの地域で Model-A よりも高い津波波高となっている。しかし、図-10 における本州の御前崎と図-15 の九州の佐多岬から宮崎においては、Model-A の方が高くなっている。これらの地域では、Model-A の方が B, C よりも陸地に近い海域で初期波形の大きな変位が発生したことや、走向が南海トラフに直交する方が波源の指向性により津波エネルギーが直接陸地に向かって集中したことが要因として考えられる。

以上の比較より、各地点で最も高い津波を来襲させるモデルおよび震源位置を抽出し、それらの包絡線をプレート内部型モデルとする。

(2) プレート内部型モデルとプレート境界型モデルの比較

評価範囲を本州と九州に分け、プレート内部型モデルとプレート境界型モデルによる津波高の分布を図-16 と 17 に示す。ほとんどの地域において、プレート境界型モデルの方がプレート内部型モデルよりも大きな津波高分布となった。したがって、紀伊半島南島沖地震のようなプレート境界付近で発生するプレート内部型地震に伴う津波に対しても、従来から行われているプレート境界型地震を対象とした津波防災で対応が可能であることが示された。しかし、本州の串本と九州の佐多岬から宮崎のように局所的にプレート内部型モデルの方が大きくなる場所も存在した。具体的には、串本では Model-B の No. 2 と 3, Model-C の No. 3, 佐多岬から宮崎では Model-A の No. 7, 8, 9 の方が大きくなった。これらの原因としては、これらのモデルでは、より陸地に近い海域での波源の隆起がプレート境界型モデルよりも大きいこと、波源自体が陸地に近いこと、指向性により津波のエネルギーが局所的に直接陸地に向かう場所であることなどがあげられる。したがって、これらの地域においては、プレート内部型の中規模地震を用いた詳細な被害想定を行う必要があると考えられる。

4. 終わりに

紀伊半島南島沖地震津波のようなプレート境界付近で発生する中規模のプレート内部型地震による津波の数値解析を実施して、プレート境界型モデルとの比較を行った。その結果、ほとんどの地域において、後者の方が危険側の結果となり、従来から行われているプレート境界型モデルを想定した津波防災の有効性が示された。しかし、一部の地域では、局所的にプレート内部型モデルの方が危険側の結果を示しているため、これらの地域ではより詳細な検討が必要であると考えられる。

謝辞：本研究は、文部科学省の大都市大震災軽減化特別プロジェクト（代表：河田恵昭）の一環として行われたものである。また、GPS 津波計のデータは、観測主体である日立造船株式会社から提供を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 小池信昭・越村俊一・高橋智幸・今井健太郎・河田恵昭・原田賢治・鈴木進吾・奥村与志弘・今村文彦・藤間功司・鳴原良典・谷岡勇市郎・西村裕一・加藤照之・行谷佑一・寺田幸博 (2005)：2004 年紀伊半島沖地震津波に関する現地調査と防災上の課題，海岸工学論文集，第52巻，（印刷中）
- 佐藤良輔 (1989)：日本の地震断層パラメータ・ハンドブック，鹿島出版会，初版，390 p.
- 地震調査研究推進本部 (2004)：紀伊半島南島沖の地震活動の評価，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04sep_kiihantou2/，参照 2005-05-17.
- 高橋智幸 (2002)：津波の解析技術-南海地震津波を例として-，土木学会水工学シリーズ，02-B-5.
- 中央防災会議 (2003)：中央防災会議 東南海・南海地震等に関する専門調査会，<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/17/index.html>，参照 2005-05-17.
- 山中佳子 (2004)：EIC 地震学ノート No.153 9 月 5 日の紀伊半島南東沖地震（本震：MJ7.4）の再解析，http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2004/EIC153.html，参照 2005-05-17.