

羅臼町幌萌海岸の地すべり（2015年4月24日）に伴う海岸

隆起の産状と隆起量

Estimation of the Amount of Coastal Uplift Associated with the Landslide that on April 24, 2015, at Horomoe Beach, Rausu, Hokkaido, Japan

西村 裕一¹・岩崎 藍子²

1, 北海道大学理学研究院地震火山研究観測センター

2, 北海道大学大学院環境科学院

Yuichi Nishimura¹・Aiko Iwasaki²

1, Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

2, Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

Abstract

On April 24, 2015, a landslide and unusual coastal uplift occurred at Horomoe coast of Rausu, Hokkaido, Japan. Post event field surveys were conducted in April, August and October of 2015. The uplifted area was 40 m wide and 40 m long (along the coast), and the surface was covered with rocks that fresh seaweeds were attached. We estimated the upper limits of preferable depths for *Corallina pilulifera* and *Saccharina* spp. and measured their distribution on 29 rocks. Elevation of the uplifted rocks was measured using GPS. The average and maximum of the uplift are 8.4m and 10.0m, respectively.

Key Words: Rausu, coastal uplift, seaweed, *Corallina pilulifera*, *Saccharina* spp.

キーワード：羅臼海岸，海岸隆起，海藻，ピリヒバ，コンブ属

1. はじめに

2015年4月24日、北海道知床半島の羅臼町幌萌海岸で大規模な地すべりが発生し、それに伴って海岸一帯が隆起した。我々は海岸隆起の詳細を把握するため翌25日に羅臼町を訪れ、情報収集と現地調査を行った。調査は同年8月と10月にも実施し、隆起域に見られる経年変化（風化）を観察し隆起量を見積もった。隆起域は9月の台風18号による高波で大きく侵食されている。

本稿では、主に隆起量の見積もりと隆起パターンについて報告する。なお、現地調査と情報収集にあたって羅臼町幌萌町の舟木清一氏と濱名秀一氏にお世話になった。



図 2. 地すべり地の斜め写真（アジア航測（株），2015 年 5 月 6 日撮影）.



図 3. 海岸隆起域（2015 年 4 月）. 左：南端から北を見る. 右：北端から南を見る.



図 4. 海岸隆起域（2015 年 8 月）. 左：南端から北を見る. 右：北端から南を見る.



図 5. 海岸隆起域（2015 年 10 月）. 左：南端から北を見る. 右：北端から南を見る.

現地調査は2015年4月25-26日、8月19-21日、および10月14-16日の3回実施した。現地調査では、海岸から浅海底であった領域がそのまま持ち上がったこと、細長いかまぼこ型の隆起域の表面には複数の断層が形成されていること、北と南の端は斜面が崩壊した土砂に覆われていること、隆起域と段丘斜面との間には溝があり一部に水がたまっていることなどが観察された。10月の調査では9月の台風18号で隆起域の約半分が侵食されて消失していることも確認できた。図3から図5に、3回の調査時の隆起域の写真を示す。

新聞や現地の方々の話では、隆起量は10-15mに達したとのことであった。しかしながら、隆起量は海岸に沿って一様でないことは隆起域を踏破してわかったし、また隆起域の表面が海底なら元の水深を見積もらなければ正確な隆起量はわからないことも明らかである。我々は礫に付着した海藻を同定することでそれらが棲息していた水深を推定し、隆起量をより正確に見積もることを試みた。これらの基礎データを基に隆起を伴う地すべりのメカニズムを考察するのは続報に譲ることとする。

地震に伴う地殻変動で震源域の直上にある島などが隆起し、海底が持ち上げられて一部が海上に露出した事例は珍しくない。生物痕跡と潮位との関係から隆起量を見積もることは、地震直後の現地調査³⁾や古地震の履歴研究⁴⁾でも行われている。短時間で形成された不安定な地形や海底から海上に持ち上げられて急激に棲息環境を変えられた生物群が、その後どのような風化プロセスを辿り残されていくのか、これを調べる機会は貴重である。今後の経過観察も重要となるであろう。

3. 隆起部表面の礫と付着物

3-1 礫の付着物と流水による侵食の痕跡

現地観察によれば、隆起部は基本的に海底面がそのまま持ち上げられたと考えられる。隆起翌日には、隆起域の表面に礫に付着した海藻やウニや貝などの海底に生息する生物の新しい遺骸が見られた。また、礫が堆積物に覆われている様子は認められなかった(図3)。

礫に付着している海藻の種類には、海岸線に平行して帯状に系統的な違いが認められた(図6)。礫には陸側から順に、(1)海藻が付着していない、(2)緑藻のモツレグサ *Spongomorpha duriuscula* や紅藻で石灰質の藻体を持つピリヒバ *Corallina pilulifera* が付着している、(3)紅藻のダルス *Palmaria palmata* が付着している、(4)さらに褐藻のコンブ属 *Saccharina* spp. が付着している、の特徴が認められた。またアマモ *Zostera marina* とみられる海草が付着した礫は隆起域の海側に局所的に分布していた。

上部に流水による侵食の痕跡が残されている礫も確認できた。侵食を受けた礫の表面には、緑藻がまばらに生える領域と紅藻や褐藻が密生する領域の明瞭な境界が認められる。これは、流水によって上部の海藻が削り取られ、できた空き地に春季に繁茂する緑藻が生えたことによると推察される⁵⁾。

隆起4カ月後の8月には、隆起した礫上にあつたほとんどの海藻は乾燥し退色していた。一方ピリヒバの石灰質の藻体はしっかり保存されていたため、何も付着していない礫とピリヒバが付着する礫との境界はより明瞭になった。モツレグサやダルスは、退色はしていたものの残っていた。コンブ属は藻体が消失していたものの、基部は一部湿った状態で残ってい

た。10月には、礫上の付着海藻は、乾燥の進行や風化、脱落によって明らかに少なくなっていった。付着海藻で顕著に残っていたものは、コンブ属の基部とピリヒバであった。保存性が高いのは、いずれも付着力が高く乾燥に強いと考えられる。流氷による侵食の痕跡は8月と10月の調査時にも明瞭であった。



図 6. 隆起域の表面にある礫の付着物の分布. a: 付着物がない礫, b: モツレグサ・ピリヒバが付着, c: ダルスが付着, d: コンブ属が付着, e: アマモが付着. 2015年4月26日撮影.

3-2 付着物と水深の関係

隆起した礫にみられる海藻の帯状分布は、この浅海底で海藻が種ごとに異なる好適な深さに棲み分けていたことを示している。ピリヒバ、モツレグサ、ダルスは潮間帯（潮の満ち引きによって海水に浸かったり浸からなかったりする場所）に分布し、コンブ属は潮下帯（常に海水に浸かる場所）に分布する海藻である。隆起部は潮上帯（海水に浸からない場所）から潮間帯、潮下帯にかかる海底がそのまま隆起したとみなすことができる。

我々は10月の調査において、隆起部上にある礫を以下の4つのカテゴリーに分類した。

(1) 流氷による浸食がなくコンブ属が付着しているもの（最も深いところにあった）。(2) 流氷による浸食を受けているもの（次に深いところにあった）。(3) 流氷による浸食がなく、ピリヒバは付着するがコンブ属は付着していないもの。(4) 付着海藻がないもの（最も浅い、海岸線付近にあった礫）。図7は、各カテゴリーに分類した礫の様子、および付着している海藻と水深の関係を示す概念図である。

3-3 水深の推定方法

礫上の付着海藻を指標とすれば、それぞれの礫があった場所の水深（基準とする海水面からの深さ）を推定することができる。礫上の付着海藻の調査は第3回の調査（2015年10月）で行った。水深の推定はコンブ属あるいはピリヒバの分布上端を指標とすることとし、以下の3つの条件を満たす礫29個を調査対象とした。条件は(1) 礫上にコンブ属あるいはピリヒバの分布の上端が見られること、(2) 各カテゴリーの境界部付近にあること、(3) 隆起時およびその後移動や転動が起こっていないこと、である。そのため、カテゴリーの境界部周辺を歩き、付着している海藻の種類や分布が周囲一帯の痕跡を代表しているとみなさ

れる礫を探した．また隆起域の広い範囲をカバーすることも考慮した．

これらの礫について，まず礫の最上部に基準点を設け，基準点からコンブ属あるいはピリヒバの分布上端までの垂直距離をメジャーで計測した．その他の海藻についても，分布が明瞭な場合には同様に計測した．流水の浸食を受けた礫は，浸食部の境界で付着物がない部分とピリヒバが密に付着する部分とが隣接することで見分けられた．浸食の有無については，周辺にある他の礫にも同様の境界が見られることを確認して判断している．なお，基準点は主に礫の最上部に設け，GPSを用いた衛星測量で水平位置と標高を測量した（後述）．

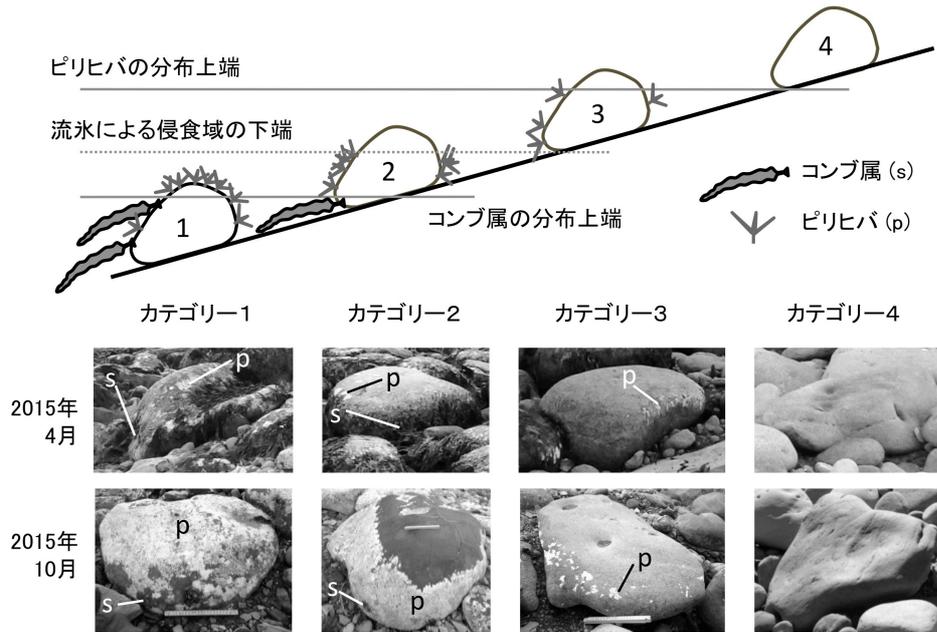


図 7. 隆起前に海底にあった礫の水深と付着海藻との関係を示す模式図．礫は，流水による浸食がなくコンブ属が付着している礫（カテゴリー1），流水による浸食を受けた礫（カテゴリー2），流水による浸食がなくピリヒバは付着するがコンブ属は付着していない礫（カテゴリー3），付着海藻がない礫（カテゴリー4）に分けた．写真は各カテゴリーに分類され礫の2015年4月と10月の様子である．同じ礫を撮影したのではない．なお，大潮最低低潮位はコンブ属の分布上限に相当するとみなした（本文参照）．平均海水面はピリヒバの分布上限より上位（浅部）になる．

礫があった場所の水深は，コンブ属とピリヒバの分布上端の測定値を用いて推定した．他の海藻と流水による浸食痕跡は，結果の妥当性をチェックするためにのみ用いることとした．ここでは，コンブ属の分布上端の深さを大潮最低低潮位（ELSW） ± 0 cmであるとみなした．潮間帯下部に分布するダルスと潮下帯に分布するコンブ属とが隣接して分布していたため，コンブ属の分布上端を潮下帯の上端とみなすことは妥当であると判断した⁶⁾．

ピリヒバの分布上端の水深は，コンブ属の分布上端との相対的な垂直距離から推定した．コンブ属とピリヒバ両方の分布上端が識別できて，かつ流水による浸食を受けていないことが明瞭な礫は2つあり，それぞれの上端間の垂直距離は +18cm, +19cm であった．よって，ここではピリヒバの分布上端はコンブより 20cm 浅いとみなし，大潮最低低潮位（ELSW）+20cm とした．

番号	カテゴリー	流水の影響	分布上端～礫上端の高さ(cm)		潮位の指標	隆起前の 標高(m)	隆起後の 標高(m)	隆起量(m)
			ピリヒバ	コンブ属				
1	1		0	3	コンブ属	-0.65	7.68	8.3
2	1		0	7	コンブ属	-0.61	7.91	8.5
3	1		0	33	コンブ属	-0.35	8.74	9.1
4	3		5		ピリヒバ	-0.43	8.11	8.5
5	2	有		20	コンブ属	-0.48	9.29	9.8
6	1		0	10	コンブ属	-0.58	8.95	9.5
7	1		0	5	コンブ属	-0.63	9.30	9.9
8	3		5		ピリヒバ	-0.43	8.93	9.4
9	2	有		18	コンブ属	-0.50	8.79	9.3
10	1		2	20	コンブ属	-0.48	6.33	6.8
11	2	有		40	コンブ属	-0.28	6.61	6.9
12	3		9		ピリヒバ	-0.39	8.28	8.7
13	2	有		11	コンブ属	-0.57	8.43	9.0
14	3		15		ピリヒバ	-0.33	7.52	7.9
15	1		0	9	コンブ属	-0.59	8.11	8.7
16	1		0	15	コンブ属	-0.53	8.50	9.0
17	3		13		ピリヒバ	-0.35	6.95	7.3
18	1		0	10	コンブ属	-0.58	7.55	8.1
19	1		0	20	コンブ属	-0.48	8.38	8.9
20	1		0	8	コンブ属	-0.60	8.86	9.5
21	1		0	5	コンブ属	-0.63	9.36	10.0
22	2	有		17	コンブ属	-0.51	8.36	8.9
23	1		0	5	コンブ属	-0.63	7.85	8.5
24	2	有		13	コンブ属	-0.55	6.92	7.5
25	1		1	20	コンブ属	-0.48	6.74	7.2
26	1		0	8	コンブ属	-0.60	7.12	7.7
27	1		0	8	コンブ属	-0.60	6.40	7.0
28	2	有		18	コンブ属	-0.50	6.39	6.9
29	2	有		20	コンブ属	-0.48	6.83	7.3

表 1. 調査地点（礫）の海藻分布と礫上端の標高，および隆起量.

Yamada⁷⁾ は羅臼町において潮間帯～潮下帯の海藻の垂直分布を示している。この結果は我々が観察した藻類の相対的な垂直距離とは調和的でなかった。今回はその数値を用いないこととした。今後、周辺海域においてコンブ属やピリヒバが分布する場所（基準とする海水面からの深さ）を実測してより詳しく検証する必要があるだろう。

3-4 水深の推定結果

礫の海中位置（基準とする海水面からの深さ）は、コンブ属が付着する礫ではその分布上端を指標に、コンブ属が付着していない礫ではピリヒバの分布上端を指標にして推定した。コンブ属を第一とした理由は、コンブ属の方が潮間帯に棲むピリヒバよりも波あたりの違いが垂直方向の棲息分布に及ぼす影響が小さいと考えられるからである⁶⁾。

羅臼町における ELSW の標高は実測されていないが、ここでは網走市とほぼ同じと仮定した。網走市における ELSW は TP - 68 cm である⁷⁾⁸⁾。各礫の測定結果、および水深（礫の隆起前の標高）の推定結果を表 1 に示す。測定した 29 個の礫の最上部（基準点）の水深は、平均で TP -50cm、最も浅いもので TP -28cm、最も深いもので TP -65cm と求められた。調べた 29 個の礫のうち、カテゴリ 1, 2, 3 に含まれるものはそれぞれ 16 個, 8 個, 5 個であった。

4. 隆起量の推定

4-1 測量方法

付着した海藻を基に 29 個の礫の最上部に設けた各基準点の海中位置（TP を基準とした水深）が推定できたので、隆起後の位置を測量して隆起量を見積もった。測量は ProMark3（Magellan 社）2 台を用いて GPS 測量により実施した。ここでは 1 台を隆起域のほぼ中央部にリファレンス点として設置し、もう 1 台を移動局として各礫の基準点直上にそれぞれ数分～数 10 分置いて計測した。リファレンス点の座標は羅臼町の電子基準点を利用して精度よく求め、各礫の基準点の座標はリファレンス点からの相対位置として決定した。いずれも Static 測量による座標決定であり、精度は数 cm 以下と見なすことができる。

隆起域全体の形状（起伏）を把握するため、衛星信号を受信しながら行う Kinematic 測量もあわせて行った。測量そのものの精度は同様に高いと考えられるが、凹凸が多い礫の上の測量結果であることと、ポールを保持しながら歩くことによる誤差が 20-30cm 程度は含まれていることを考慮する必要がある。

GPS 測量で得られた高さは地球の回転楕円体表面からの高度である。今回は隆起域中心部のジオイド高（30.95m）を国土地理院のホームページ上で求め、そこからの高さを標高として示した。

4-2 隆起量

得られた結果を表 1 と図 8 に示す。ここで隆起後の礫の標高は対象とした 29 個の礫の基準点の測定時の標高（海拔高度）であり、隆起量はこの標高に海藻の分布上限から推定した基準点の TP からの深さを加えたものである。標高および隆起量の平均はそれぞれ、7.9m と 8.4m、最大値は 9.4m と 10.0m、最小値は 6.4m と 6.8m であった。標高および隆起量の差が約 0.5m ということは、隆起前には海底の礫の頂部が平均海水面の約 50cm 下にあったことを意味している。

4-1 隆起パターン

図 8 に隆起域の形状を南北断面で示す。測線（地図上の白線）は高波で侵食されずに残った隆起域のほぼ中心に設けた。侵食前後の写真を見る限りでは、侵食域の頂部には平坦な部分があり、大きく隆起した領域がすべて侵食されてしまったということはない。よって、この南北の隆起パターンは隆起地形の概要を表しているとみて問題はないであろう。

隆起地形は複雑であり、例えば南の台地（標高約 7m）とその北部（同 9-10m）には明瞭な不連続が認められ、この境界には断層が形成されている。隆起地形の詳細から地すべりに伴う海岸隆起のメカニズムを議論することは続報に譲る。

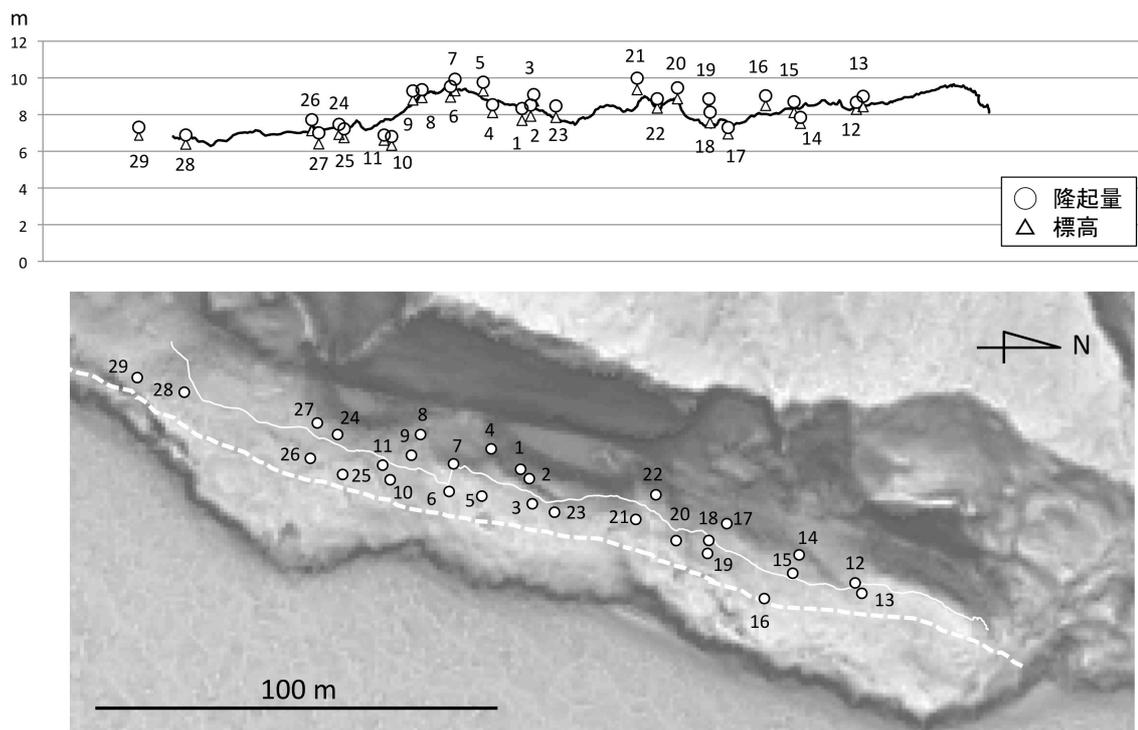


図 8. 調査地点（礫）の分布と標高および隆起量. 上図に示した南北断面のプロファイルは地図の白線に沿って計測したものである. 白破線は、これより海側が 2015 年 9 月の台風 18 号によって侵食されたことを示す. このラインは 10 月に隆起域の海側縁を測量して得た. 地図はアジア航測（株）に提供していただいた赤色立体地図を用いている.

5. まとめ

2015 年 4 月 24 日に羅臼町幌萌海岸で発生した地すべりに伴う海岸隆起について、発生翌日からの 4 月 25-26 日、8 月 19-21 日、および 10 月 14-16 日に現地調査を実施した. 目的は隆起量とその空間分布を明らかにすることである. 隆起量は、隆起前には海底にあったと推測された礫 29 個を対象に、付着している海藻類から隆起前の水深を推定し、隆起後の標高と足し合わせることで求めた. 利用した海藻の痕跡はコンブ属とピリヒバの礫上における分布上限であり、この痕跡は 10 月の調査時にも明瞭で十分に識別可能であった. 標高および隆起量の平均はそれぞれ、7.9m と 8.4m、最大値は 9.4m と 10.0m、最小値は 6.4m と 6.8m であった. 隆起地形は複雑であり、南の台地（標高約 7m）とその北部（同 9-10m）には明瞭は不連続が認められることも確認された.

6. 謝辞

3 回の現地調査と情報収集にあたり、羅臼町幌萌町の舟木清一氏と濱名秀一氏にお世話になった. 北海道大学の小亀一弘氏には海藻の同定にご協力いただいた. 同じく北海道大学の野田隆史氏には礫の水深の推定方法を検討する際にご助言いただいた. ここに感謝の意を表します. アジア航測（株）からは空中写真と赤色立体地図の使用を許可していただいた. また、本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の支援を受けた.

7. 参考文献

- 1) 高橋浩晃 (2015) 「羅臼町地すべり調査報告 (暫定版)」
<http://www.sci.hokudai.ac.jp/~hiroaki/rausu/rausu.htm> (2016年1月10日)
- 2) 北海道立総合研究機構地質研究所 (2015) 「平成27年4月24日に発生した羅臼幌萌海岸の地すべり調査報告 (速報)」
http://www.hro.or.jp/list/environmental/research/gsh/information/topics/files/rausu_land_slide.pdf (2015年1月10日)
- 3) Tomita, T., Arikawa, T., Tatsumi, D., Honda, K., Higashino, H., Watanabe, K., Nishimura, Y., Tanioka, Y., Nakamura, Y., Tsuji, Y., Namegaya, Y., Murata, M., Woodward, S., Satake, K., Imamura, F., Matsutomi, H., Fujima, K., Shigihara, Y., Koshimura, S. and Miyagi, Y., “Joint report for tsunami field survey for the Solomon Islands earthquake of April 1, 2007”. 『津波工学研究報告』, 25, 21-94, 2008.
- 4) 宍倉正展・越後智雄・前杵英明・石山達也・永井亜沙香 (2008) 「南海トラフ沿いに起きた歴史地震に伴う隆起を記録した紀伊半島南部沿岸の生物遺骸群集」, 『歴史地震』, 23, 21-26.
- 5) McCook, L. J. and Chapman, A. R. O. (1997). “Patterns and variations in natural succession following massive ice-scour of a rocky intertidal seashore” *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 214(1), pp.121-147.
- 6) Raffaelli, D. and Hawkins, S. J. (2012). *Intertidal ecology*. Springer Science & Business Media.
- 7) Yamada, I. (1980). “Benthic marine algal vegetation along the coasts of Hokkaido, with special reference to the vertical distribution” *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University. Series 5, Botany*, 12(1), pp.11-98.
- 8) 国土交通省気象庁, 潮位表掲載地点一覧表 (2015年).
<http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/index.php> (2016年1月10日)
- 9) Wessel, P. and Smith, W. H. F., (1998) “New, improved version of the Generic Mapping Tools released”, *EOS Trans. AGU*, 79, 579.