

## 石垣島における1771年明和大津波と津波石移動の数値解析

今村 文彦\*・吉田 功\*・アンドリュー・ムーア\*

## 1. はじめに

## 1.1 明和地震津波と被害

沖縄県における津波の発生頻度は比較的低いと言われるが、過去の試料を見ると、大きな災害をもたらした事例が残されている。昭和8年3月10日(1771年4月24日)に発生した八重山地震津波である。この津波により、八重山列島・宮古島列島を中心とした地域で多大な被害を受けている。当時の記録によると、全琉球で地震を感じたが、被害はなかったようである[渡邊, 1998; 牧野, 1968]。つまり、小さな揺れ(地震マグニチュード)で、大きな津波が来襲したことになり、広義の意味での「津波地震」にも分類される特異な事例である。

津波は八重山・宮古両列島を襲い、引きから始まった津波の高さは最大30m以上となり、石垣島で最も多くの被害を受けたと報告されている[渡邊, 1998]。特に、石垣島では東方沖から津波の直撃を受け、死者8,335名、海水に洗われた総面積は約8,000町歩、石垣島総面積のおよそ40%に達したと言われる。但し、島の反対側は海岸地帯の低地に浸水した程度で、被害は軽微であった。また、宮古島の東海岸および池間・伊良部・下地・多良間・水納の各島を襲い、死者2,548人、浸水家屋25軒、船の破損76艘の被害を出している。合計で1万2千名もの犠牲者を出した。沖縄だけでなく我が国の災害歴史史上最大規模をもたらしたことになる。

## 1.2 津波石

石垣島では、300個以上の珊瑚岩が津波により移動したと言われている。津波石の表面にはテーブル珊瑚等の海中生物が残っていることから、これら津波石は、海岸付近の珊瑚礁が津波の力により打ち砕かれ、陸上まで打ち上げられたものであると推定されている。このような津波石の痕跡は、当時の津波の来襲状況や破壊規模を推定するために大変有益であるが、今までその解析は十分ではない。

津波石のほとんどは石垣島の東南部に集中し、26t以下のものが大部分を占めるが、128tを超えるものだけでも30個以上に及び、中でも最大のもは、直径10m、高さ5m、周囲長さ36mもあり、重量が700tを超えると推定されている。牧野(1968)は、津波石の存在や古文書から石垣島での最大遡上高として85mという記録を肯定している。一方、加藤(1986)は「津波石」の中には陸上に八重山地震津波以前から分布していた琉球石灰岩の転石が多量に含まれていることを指摘し、「津波石」の分布高度分布をもとに津波遡上高を推定することはできないと述べた。琉球石灰岩と現生サンゴ礁石塊とに判別し、津波で打ち上げられたと考えられる石塊は最高25m地点に限られ、それより高い位置に分布する石灰岩塊は、すべて津波以前からあった琉球石灰岩の転石であると推定している。津波の遡上高は30m弱であると考えている。

以上のように、この明和地震津波は、その発生メカニズム、被害規模、津波石などの痕跡、様々な点において課題が残されており、かつ重要な情報を含んでいると言ってよい。本研究では、この津波の波源と津波石の挙動について特に検討を行うものである。

\*東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター

## 2. 対象とする津波痕跡高さと津波石

まず、数値解析にあたり、参考または比較対照とする推定遡上高や津波石の情報を正確にしなければならない。ここでは、過去の研究(田中・河名, 1986; Ota et al, 1995; 河名, 2000; 加藤, 1986; 河名・中田, 1987)を参考に整理を行った。

津波が来襲した島々には、津波石が海岸から内陸深くまで多数分布している。当時の被害状況を詳しく記載した古文書「大波時各村乃形行書」では、28丈2尺(85.4m)の石垣島での最高遡上高を記載している。この遡上高について今村(1938)は、単位が一桁間違っていて記録されたと否定的見解を示したが、牧野(1968)は、「大波時各村乃形行書」と津波石の分布から肯定的見解を示し、この津波の大きさを強調した。一方、加藤・木村(1983)

は、石垣島の津波石のうち、宮良湾内に点在する石塊を除いて、多くは明和津波以前から分布していた更新世隆起石灰岩からの転石であること、などを指摘している。このように明和津波についてはいくつかの論争があり、その実体については十分に解明されたとはいえない。そこで、現在までの津波石や被害状況の記述を整理し、その信頼性について議論を行った。その結果を表-1にまとめる。ここでは、古文書、伝承、津波石の存在などの対応関係を調べ、3つの段階に信頼性を分類した。表中で×は対応関係がはっきりしない、または食い違いが大きい値であり、その事実を否定しないものの本研究の対象外とした。なお、津波石の標高は、当時の津波遡上高さと密接な関係があるが、等しくないことに注意を要する。少なくとも津波石の高さまで、津波が遡上したという情報になる。図-

表-1 過去の調査による津浪痕跡高さ

判定	場所	推定値	根拠	備考	文献
△	波照間島 東岸高須崎	13~18m	150±80, 165±80年のサンゴ片がそれぞれ18m, 13mの高度に存在するためこの地点での遡上高は少なくとも3.5mで、おおよそ数m程度は遡上した	ただし、古文書によると被害はほとんどなし。	中田・河名(1986) Ota et al.(1995)
○	南岸の Loc.2	3.5~5m			
△	西表島 南東部一部南風見	5m以下	この付近を中心に家屋水田が被害をうける。死者なし。サンゴ化石は620±75	ほとんど遡上していないという見解	中田・河名(1986)
△	黒島	5~10m	広い範囲で津波が遡上した。島民の1/5が死亡多くの民が難をまぬがれたことから、打ち上げ高は島の最高点10mをこえていない。	もっと低い可能性がある。	中田・河名(1986)
△		5m	古文書と岩塊の推定位置から		河名(2000)
○	石垣島 新川村, 石垣村	8.2m, 9.2m	古文書「船方記」と伝承が一致している。		伊達(2000)
△	大川村, 豊野城村	9m, 12.2m			
△	真栄里	約19m	文献と推定遡上より		
△	大浜	25m+	16m程度の地域にサンゴ片確認20m, 30mの段丘から判断	古文書「船方記」には44.2mしかし、その高度にサンゴ片なし。古文書「船方記」には59.9m	
△	白保	30m+	サンゴ片の限界高さは約30m聞き取りによると遡上は段丘の二段目まで		
△	仲興路村	20~25m	サンゴ片と古文書が一致	ただし、サンゴ片は10~30mまで分布する	
△	伊野間	32.7mより低い	伝承や、津波がきたという場所(30.3m)から32.7mより少し低い位置であるという見解	古文書「船方記」には32.7m	
△	安良	30m?	当時の集落位置		
○	多良間島	15~20m	古文書によると15~20mに位置する集落が被害津波で打ち上げられたことが確かなサンゴ片の位置が最高17.5mである	かなり信憑性が高い。くわしい調査もしている。ただし波の進入経路に若干疑問あり	加藤(1987) 河名(2000)
×	宮古島 南岸沿い 宮園~友利	25m以上 18前後	古文書によると25m以下の埋積面の地域が波に洗われたとある。15~20m付近の畑にサンゴ片がある。(ただし未計測)		中田・河名(1986)
×	東方の東平安名崎	20m以上	一帯に巨れきが点在し、岬の上にもっており、津波で打ち上げられたと考えている。よって津波は岬をこえたと考えている。(岬の最高海抜高度は約20m)		河名・中田(1987)
×	南岸沿い 宮園, 新里, 砂川, 友利	20m弱	新鮮なサンゴ片の分布が20m弱津波以前にあった集落の標高が5~25m	御開合書の被害状況と遡上高の記録が食い違う	加藤(1988)
○	南岸沿い	10.5前後	御開合書の被害状況からの推定 文献, 古文書, 調査よりは推定		河名(2000)

1には、八重山・宮古列島での分布図、図-2には、石垣島での分布図を示す。津波エネルギー（津波高さに関連）は石垣島を中心に分布していること、さらに、石垣島では、東海岸で30mを超える値が出ていることが分かる。

さらに、津波石移動の数値解析の対象は注意をして選定した。数値解析においては、津波来襲前の津波石の位置を知る必要があり、この情報を持ち当時の津波によって移動したと確証の高いものが対象となる。河名（2000）により、詳細な調査が実施させ、その中から

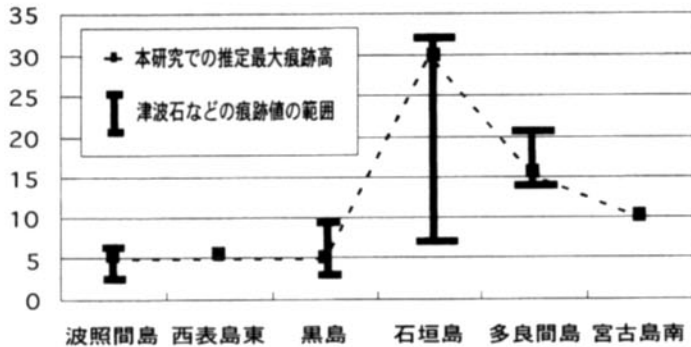


図-1 八重山・宮古列島での推定される津浪の痕跡高さ

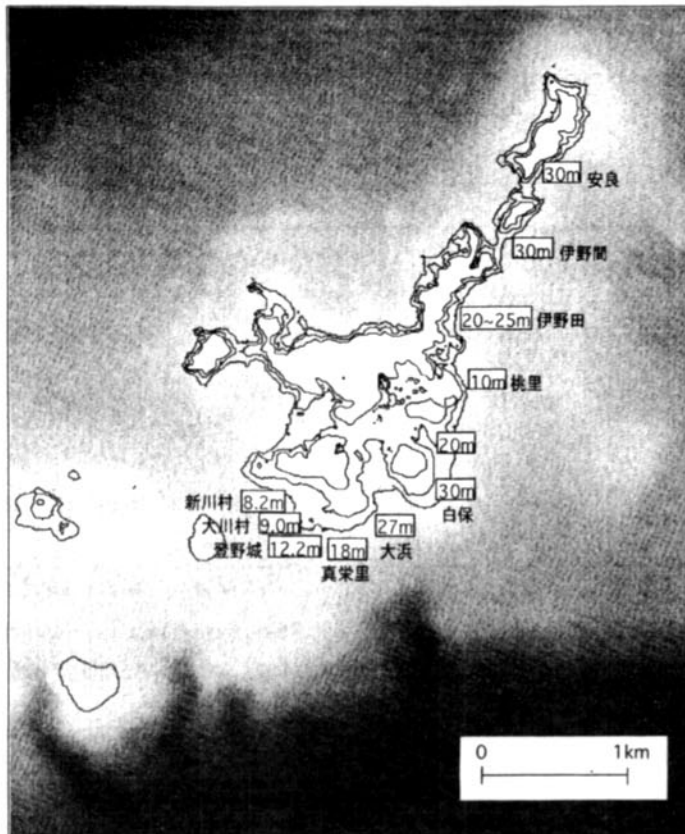


図-2 石垣島における各地点での推定される津浪の痕跡高さ

6例が本研究の対象となると考え、表-2にその記述をまとめる。大浜での津波石は、移動については非常に詳細で正確であるが、津波来襲時に2つに分かれてたとの記述があり、本数値解析ではその再現は難しい。また、石垣島南方の「ふこりおり石」は、移動距離が大変長いこと、来襲前の位置が不正確であるため、適用が難しい。従って、特に伊野田の「あまたりや湖荒(おうあり)」を中心に数値解析を行う。

### 3. 津波波源の推定

明和津波の波源位置及び規模に関する検討は、中田・河名(1986)により初めて行われた。位置に関しては、津波被害の規模から、琉球海溝の内陸斜面にある最も陸側に近い小舟状海盆の北縁にあると推定している。また一方、吉田ら(2000)は、海溝近傍および小舟状海盆付近に断層を仮定し津波伝播計算を実施し、八重山・宮古諸島の痕跡高さとの比較により、小舟状海盆付近での断層位置の妥

当性を示した。ここでは、小舟状海盆の北縁の付近に位置するということを前提とし、さらに詳しい位置や波源の規模の検討を行う。

#### 3.1 八重山・宮古諸島での波源の検討

##### (1) 計算方法

図-3は本数値解析の対象領域を示し、西は波照間島、東は宮古島を含み、南は水深2500m付近まで領域をカバーしている。ここでの海底地形は海岸保安庁の海底図から作成し、浅水域を含めた150m空間格子間隔のデジタルデータとした。津波伝播シミュレーションの支配方程式は線形長波理論とし、海岸では完全反射の条件とし遡上計算までは行わない。また、外側境界条件は自由透過条件とし、日野・仲座(1988)により提案された、境界に仮想的な完全壁面を設定しそこで発生する重複波の半分が透過波成分と等しいという原理を利用して、与えた。ここでは仮想壁面の位置を工夫して、1時間ステップあたり離れた伝播距離とする事により、反射条件をより正確にした(図-4を参照)。

表-2 移動における関する情報がある津波石(河名, 2000)

場所		名前	サイズ	記述
石垣島	安良	安良大かね	3.6m 角	約55m南の浜にあった。
	伊野田	あまたりや湖荒 (おうあり)	5.5m 角	浜から3町(327m)ほど沖にあったが、2町(218m)程内陸に打ち上げられた。
	大浜	高こるせ石	7.3m 角	大浜津口にあった巨石が津波により2つにわかれて大村より東へ6町51間(747m)、北へ4間(523m)移動した。
	島南方	ふこちおり石	10.9m 長さ、 3.6m 横、 6.1m 高さ	平得村「糸敷」(現在の蔵元に近い)という浜から津波によって流された。その距離は推定5-8km。
黒島	黒島西部海岸		7.3m 角	琉球石灰岩がはぎ取られて、島の内側へ侵入した。その距離は約70m。

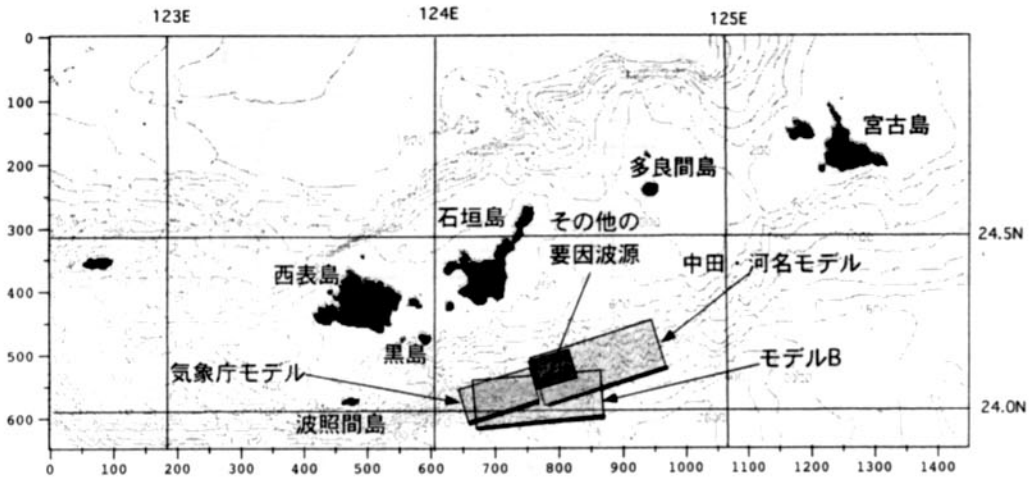


図-3 対象計算領域と各モデルの位置

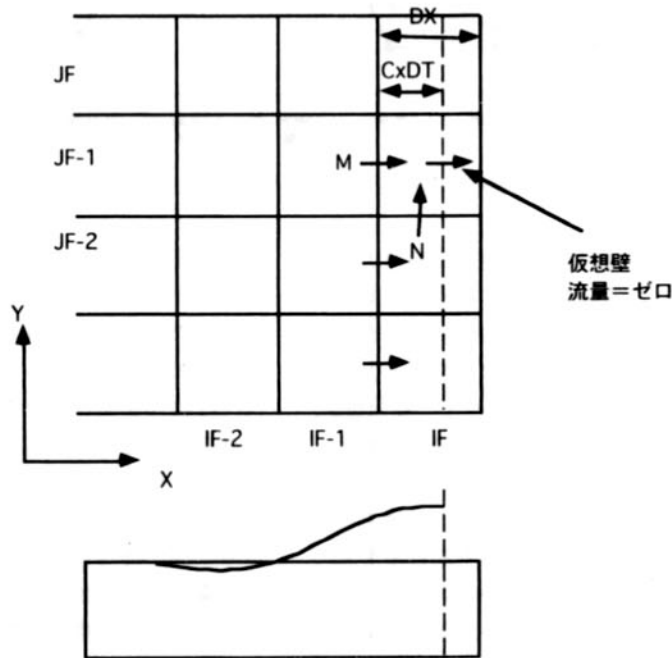


図-4 仮想壁面を設定した自由透過条件

(2) 波源の推定と計算結果

まず、気象庁による $M=7.4$ を元にした波源(以下、気象庁モデル)と、中田・河名(1986)による痕跡高から推定された波源モデル(以下、中田・河名モデル)を比較検討した。なお、中田・河名モデルでは波源サイズが推定しており、これに基づいて $M=7.8$ 程度のマグ

ニチュードが算出されている。両モデルの位置を図-3に示し、断層パラメータを表-3に示す。なお、すべり量は地震マグニチュードと断層パラメータの標準的な関係より若干大きい値としている。

この二つのモデルに対し数値計算を実施し、その計算結果と痕跡値との比較を図-5に示

表-3 各モデルの断層パラメータ

	M	L (断層長さ) (km)	W (断層幅) (km)	TH (走向) (°)	DL (傾斜) (°)	RD (滑り角) (°)	D (食い違い量) (m)	断層位置 (LJ)	断層位置 (東経, 北緯)
気象庁モデル	7.4	33	15	255	70	90	8.3	829.83	124° 28' 30", 24° 3' 55"
中田・河名モデル	7.8	66	33	255	70	90	8	1061.143	124° 56' 7", 24° 10' 26"
モデルB2		40	20	270	70	90	30	864.40	124° 32' 41", 23° 59' 14"
モデルC	断層	40	20	270	70	90	10	864.40	124° 32' 41", 23° 59' 14"
	その他の要因	15	10	260	70	90	50	864.90	124° 32' 41", 24° 4' 40"
モデルC+	断層	40	20	270	70	90	20	864.40	124° 32' 41", 23° 59' 14"
	その他の要因	15	10	260	70	90	90	864.90	124° 32' 41", 24° 4' 40"

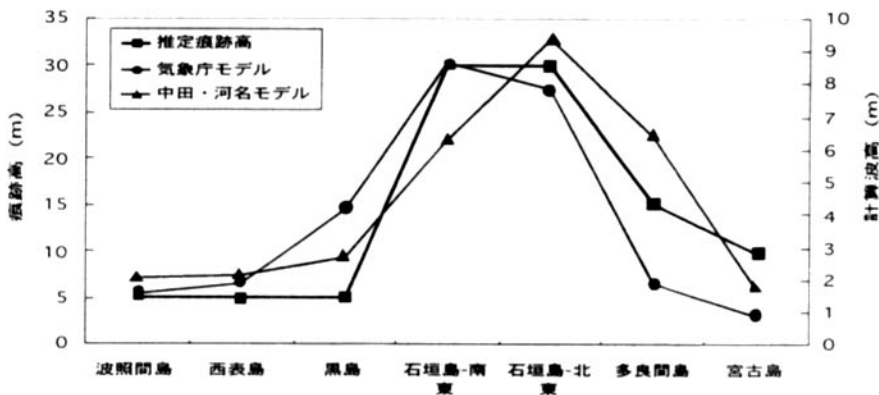


図-5 各島々の最高水位の比較 (気象庁モデル, 中田・河名モデル)

す。計算値は痕跡の周辺の数点での最大値を選んである。この結果より、数値計算結果と痕跡値との間に約3倍以上の値の違いがあることがわかる。また、空間分布を見ると、石垣島に対して津波の主要エネルギーの分布が、気象庁モデルでは若干西側に、中田・河名モデルでは東側にずれていることがわかる。ただし、気象庁モデルは、石垣島より東では過小評価しているが、全体的な空間分布を見てみると、痕跡値と比較的よい対応していることがわかる。従って、波源の位置は、気象庁モデル付近であることが推定できるが、定量的な不一致を修正しなければならない。

### (3) 本研究で提案する波源モデル

津波高さの違いはすべり量に関係し、エネルギー分布は断層の走向に大きく関連する。ここでは、図-5の比較結果を基に、気象庁モデルの位置を基準として、走行やすべり量を変えたパラメータスタディを行った。その結果、走向は270度、すべり量30m、断層長さが40km (ここでは、モデルB2と呼ぶ) が

最も妥当な値であることが分かった。痕跡値との比較を図-6に示す。痕跡値の再現性は高くなったと思われるが、黒島、石垣島南東部での不一致が見られる。

このモデルB2のすべり量30mは、地震の相似則から考えてもとても非現実的なものであり、他の要因による津波発生を考える必要があると判断する。松本・木村(1993)は八重山沖黒島付近での海底調査を実施し、明和地震の際に大規模な海底の斜面崩壊を確認しており、大規模津波の発生原因の一つである可能性を指摘している。そこで、断層位置はこのままで、その他の要因(地滑りなど)があったとし、さらに別の波源を仮定する。つまり、モデルB2のすべり量を10m(M=7.8相当)にした断層モデルに、その他の波源を組み合わせたものとした。その他の波源の規模、動的な挙動が不明であるために、ここでは断層モデルを仮定して鉛直変位量を与えることとした。本研究で試行錯誤の結果、このすべり量は50mとなったが、海面の鉛直変位

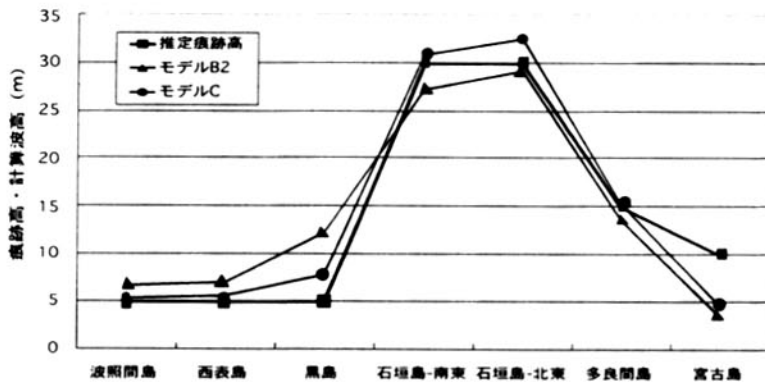


図-6 各島々の最高水位 (モデルB2, モデルCとの比較)

量としては最大25m程度である。このモデルの断層パラメータ (モデルC) 及び断層位置を表-3 及び図-3 に、津波高さの比較結果を図-6 に示す。宮古島での痕跡値を除いて、最も再現性の高い結果となった。

### 3.2 石垣島での詳細検討 一週上効果を考慮一

#### (1) 計算方法

八重山・宮古諸島での波源の検討を行った。そこでの数値解析では、粗い空間格子間隔で週上までは行わないので、痕跡値が多く残されている石垣島での詳細な検討は行わなかった。そこでは、石垣島に着目して、詳細地形 (空間格子間隔50m) を用いた週上計算を行い、波源の再検討を行う。細かい格子間隔を採用することにより珊瑚礁・リーフ地形を再現することが出来、さらに週上計算を実施することにより島陸上部での痕跡値と直接比較する

ことが可能である。比較対象の痕跡値は、図-2 に示された11カ所で得られている結果である。波源モデルは、前節で得られたモデルCである。

#### (2) 計算結果

モデルCの計算週上高と推定痕跡高との比較を図-7 に示す。これより石垣島において両者の空間分布はおおむね一致しているものの、数値結果が過小評価になっていることが分かる。これは、3.1での検討が線形長波理論であり陸側境界で完全反射を仮定したために、週上させた場合よりも津波の高さが過大になっていたと判断できる。特に、石垣島などは沿岸に珊瑚礁が発達しており、この浅瀬が特に差を生じさせた考える。

そこで、断層の位置及び長さ、幅は変えずにすべり量のみ大きくして、数値計算を実施することとする。今回最も妥当であったモデ

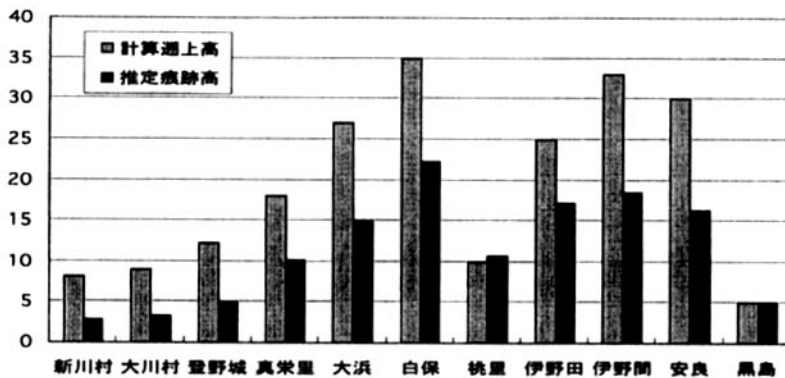


図-7 石垣島各地点の週上高の比較 (モデルC)



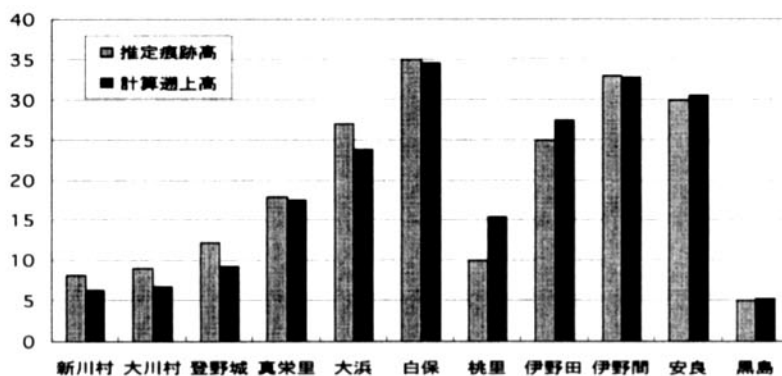


図-8 石垣島各地点の遡上高の比較 (モデルC+)

ルが表-3に示されたモデルC, C+である。比較結果を図-8に示す。定量的に大きく改善されていることがわかる。ただし、石垣島の南西部(新川村, 大川村, 登野城)周辺で計算値が若干過小, 桃里で過大評価となっている。以上の結果から, このモデルC+がもっとも妥当であると考ええる。

#### 4. 津波石移動の数値解析

##### 4.1 数値モデルと支配方程式

数値モデルは, 通常の津波成分に対するモデルと津波の流れによる津波石の移動モデルとで構成される。津波石は流れにより移動するが, 同時に流れに抵抗として作用するので, 相互に働く力のモデル化が重要である。

まず, 流れの計算には浅水理論を適用する。以下は連続の式であり

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

で表される。運動の式は, 津波石が流れに与える影響を考慮し, 津波石のある位置では次のように表せる (x方向のみ示す)。

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) \\ + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho} + f_{Dx} + f_{Ix} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで,  $M, N$  はそれぞれ  $x, y$  方向の線流量,  $D$  は全水深,  $\eta$  は水位,  $\tau$  は海底のせん断摩擦力である。また,  $f_{Dx}, f_{Ix}$  は津波石が流れに作用する抗力 (相対流速の2乗に関係する), 質量力 (相対加速度に関係する) を単位面積当たりに換算したもので, 次式のモデル化を行った。

$$\begin{aligned} f_{Dx} &= \frac{1}{2} C_D (U - \dot{X}) \sqrt{(U - \dot{X})^2 + (V - \dot{Y})^2} HW / \Delta x \Delta y \\ f_{Ix} &= \{ C_M \dot{U} LHW - (C_M - 1) \ddot{X} LHW \} / \Delta x \Delta y \end{aligned} \quad (3)$$

上2式中の  $\Delta x, \Delta y$  は, 空間格子間隔を示す。

一方, 岩塊の移動は次式により支配されると考えられる (X方向のみ示す)。

$$\begin{aligned} \rho_f LHW \ddot{X} &= \frac{1}{2} \rho_f C_D (U - \dot{X}) \sqrt{(U - \dot{X})^2 + (V - \dot{Y})^2} HW \\ &+ \rho_f C_M \dot{U} LHW - \rho_f (C_M - 1) \ddot{X} LHW - F_{bx} - F_{gx} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで  $U, V$  はそれぞれ  $x, y$  方向の流速であり,  $X, Y$  はそれぞれ岩塊の  $x, y$  方向の移動距離,  $\dot{\phantom{x}}, \ddot{\phantom{x}}$  は時間に関する微分を表す。  $H, L, W$  は岩塊の高さ, 長さ, 及び幅であり,  $F_b$  は底面摩擦,  $F_g$  は重力の斜面方向成分を示す。添え字の  $f, s$  はそれぞれ流体と岩塊とに関する量であることを示す。同様にy方向の式も求めることができる。また  $C_D, C_M$  は野路ら (1993) が定式化したモデルを用いる。図-9には, 2次元伝播問題での作用力成分のべ





図-9 石移動数値モデルでの流れ・力の方向

クトルとしてのバランスを示す。流れ方向と津波石の抵抗力方向は異なり、その差が津波石の移動方向成分を表すことに注意されたい。

#### 4.2 数値計算上での問題点

本数値モデルでは線流量及び全水深は異なる地点で離散化され、かつ計算格子内での平均量として扱われるため、粗い空間格子間隔ほど値は平滑化される。また、津波石が格子のどこに位置するかで、水量を空間的に補間する方法（距離重み法）を使用する必要がある。以上のために、隣接する格子間では水量が異なるため、津波石での水量は空間格子に依存して変化することが予想される。一例を図-10に示す。ここでは、3種類の格子間隔を用いて、同じ条件の津波来襲に対して津波石の最大移動距離を比較した。格子間隔が粗くなるほど平均化作用のために流速などは低下するため、最大移動距離が短くなっていることがわかる。小さい空間格子間隔ほど離散化誤差が小さく精度は高いと判断

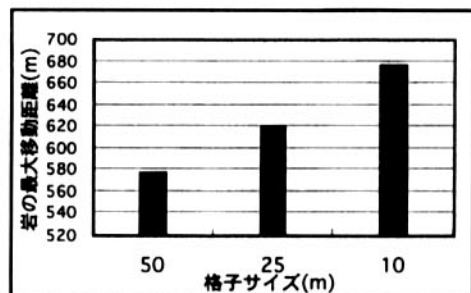


図-10 空間格子間隔による移動距離の違い

できるが、同時に、計算容量・計算時間が増加し、現地に適用することが難しくなる。津波石の数値計算に必要な所要精度と、そのための空間格子間隔の選定方法は今後の課題である。

#### 4.3 津波石移動の計算条件

以上のモデルを石垣島伊野田での津波石に適用する。この地域の地形（50m空間格子間隔）、及び津波石の想定初期位置を図-11に示す。初期位置は、河名（2000）によると岸からおよそ3町（327m）沖にあったとされ、現在では汀線から2町（218m）陸側の場所にある。ただし、具体的にどこにあったのかは不明であるので、5つの初期位置（図中のP1, P2, P3, P4, P5）を想定して計算することとした。また、津波石の寸法は、現在確認されている津波石のサイズとし、高さ4.5m、長さ6m、幅6m、岩の密度は1.5t/m<sup>3</sup>とする。静止摩擦係数、動摩擦係数はそれぞれ、現地で実測して得た0.75, 0.71とする[吉田(2001)]。また、津波石は流れに対して、常に直行しているとして、投影面積を一定とする。

#### 4.4 計算結果及び考察

図-11に岩塊の移動結果を示す。この地域では、津波の入射状況はほぼ同じであるが、岩の場所が異なると戻り流れの違いにより、

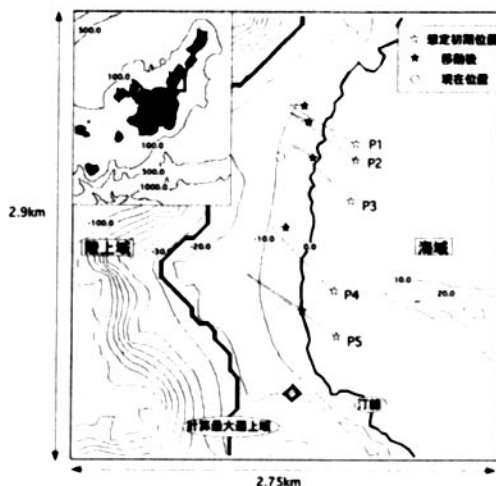


図-11 伊野田での津波石の移動地点と地形

各岩塊の移動の差が見られる。特にP5は、戻り流れによって、300m近く海域方向へ移動している。河名(2000)が報告している津波石に最も近い移動を示した位置は、P3である。従って、津波来襲前の津波石の位置はP3付近であると推定できる。ただし、P3での初期位置が最も現在の津波石の位置を説明できるが、海岸線からの位置が若干異なっている。この原因の一つは、流れ・岩の移動数値モデルの空間格子間隔やが関係すると思われる。ここでは、さらに1/3に小さくした格子サイズの数値計算を実施した。その結果を図-12に併せて示す。格子間隔が小さくなると、岩の移動量も大きくなり、より現在の津波石の位置に近づく事が分かる。これ以上、小さな格子サイズの計算は、計算機容量の問題上難しいが、大きな差は見られないと思われる。

図-13, 14に、x, y方向の岩塊の速度と岩塊に作用する流体の流速を示す。これらを参照すると、石の移動はほとんど第一波の押し

引きによる結果であるといえる。また、押し波ではx, y方向とも同じ時間帯で速度が増加し、岩を移動させているが、引き波では、x, y方向とも異なる時間で岩を再移動させていることがわかる。この違いが岩が戻る時の軌跡を左右させている。第一波の流速は10m/sを超える値であり、2 m/s程度を下回ると津波

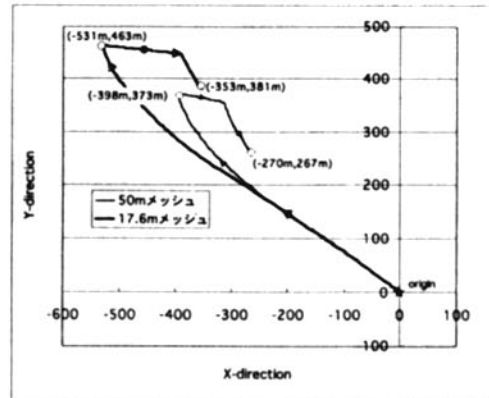


図-12 伊野田 (P3) での津波石の移動

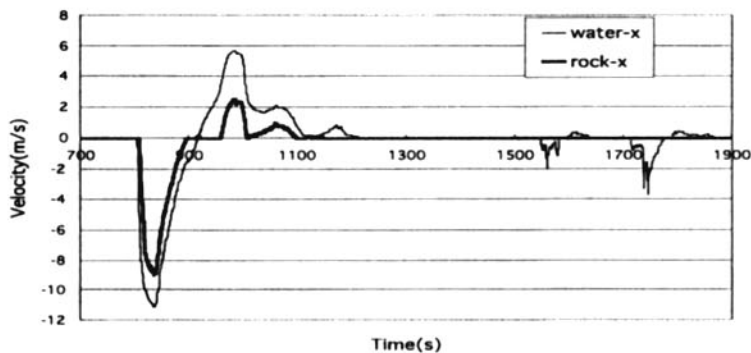


図-13 津波石に作用する流速と移動速度 (x方向)

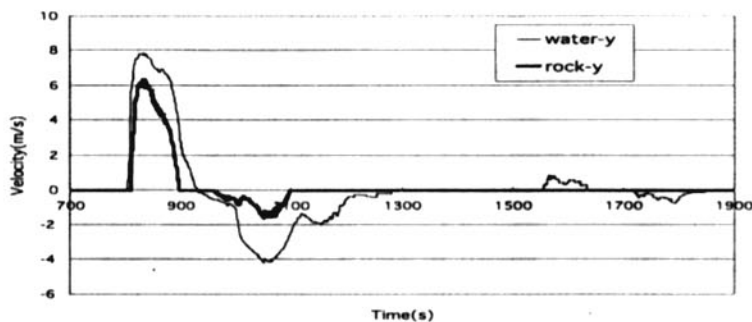


図-14 津波石に作用する流速と移動速度 (y方向)

石は停止するようである。ただし、これは、津波石のサイズや摩擦係数だけでなく、その位置の斜面勾配などにも関係する。

## 5. 終わりに

以上の検討により、以下のような結果を得た。津波波源に関しては、気象庁モデル(M=7.4)による断層モデルでは、津波の痕跡値を説明することはできない。断層サイズはほぼ同じであるが、すべり量を大きくしたモデルに加えて面積の小ささが変位量のかなり大きい波源モデルが必要である。その場所は、松本・木村(1993)が海底地滑り痕跡を指摘している黒島海丘の付近になる。本研究によれば、モデルC+が最適であると思われる。面積の小さい波源モデルは、非常に変位量が大きいことから、地震断層ではなく、海底地滑りなどの要因であると思われるが、今後の検討が必要である。

野路ら(1993)の津波石移動1次元モデルを改良し、現地に適用できる方法にした。特に、津波石に作用する力の各方向成分のバランスをとり、移動させた。本モデルを伊野田での津波石に適用させ、安定した結果を得ることが出来、適正な空間格子間隔(ここでは17.6mほど)を選定すれば、現在の津波石の位置を説明することが出来る。石の移動はほとんど第一波の押し引きによる結果であるといえる。また、押し波ではx, y方向とも同じ時間帯で速度が増加し、岩を移動させているが、引き波では、x, y方向とも異なる時間で岩を再移動させていることがわかる。この違いが岩が戻る時の軌跡を左右させている。第一波の流速は10m/sを超える値であり、2 m/s程度を下回ると津波石は停止する傾向が見られた。

最後に、図-11の位置P3のケースが示唆しているが、地形によっては戻り流れの大きい場所があり、そこでは津波石が大幅に元に位置に戻される。従って、現在ある津波石の標高は、実際の津波遡上高さより大部低い位置となる。津波石の周辺での津波数値計算を

実施し、このような効果を算定し、津波高さの再評価を行う必要があると思われる。

## 参 考 文 献

- 日野幹雄・仲座栄三(1988):数値はどう解析における新しい無反射境界スキームの平面二次元問題への適用, 海岸工学講演会論文集, 第35回, pp.262-266.
- 今村明恒(1938):琉球地震帯及びに明和津波に就て, 地震, 10, pp.431-450.
- 加藤祐三(1986):八重山地震津波(1771)の津波の遡上高. 歴史地震, 第2号, pp.133-139.
- 加藤祐三(1988):沖縄県宮古群島における八重山地震津波(1771)の挙動-新発見史料「思明氏家譜」付属文書「御問合書」による検討一, 歴史地震, 第4号, pp.47-56.
- 加藤祐三・木村政昭(1983):沖縄県石垣島のいわゆる「津波石」の年代と期限, 地質学雑誌, 89, pp.485-488.
- 河名俊男(2000):琉球列島南部の宮古諸島と八重山諸島における1771年明和津波の遡上高と岩塊の移動, 及び沖縄県南部における大型台風の高潮と古津波による岩塊の移動 東海・東南海・南海地震津波研究会津波防災対策現地調査ガイドブック, 25p.
- 河名俊男・中田高(1987):明和津波と海底地殻変動. 歴史地震, 第3号, pp.181-194.
- 牧野清(1968):八重山の明和津波, 著者出版, 462p.
- 松本剛・木村政昭(1993):1771年八重山地震津波発生域における精密地形調査と津波発生メカニズムに関する一考察. 地震H, 第45巻, pp.417-426.
- 中田高・河名俊男(1986):明和8年(1771)の地震津波について. 歴史地震, 第2号, pp.141-147.
- 野路正浩・今村文彦・首藤伸夫(1992):高波による岩塊移動に関する数値解析, 第47回年次講演会概要集, 第2部, pp.1042-1043.
- 野路正浩・今村文彦・首藤伸夫(1993):津波

- 石移動計算法の開発, 海岸工学論文集, 第40巻, pp.176-180, 1993.
- Ota et. al. (1995: Late Holocene coastal morphology and sea-level records on small islands, the south Ryukyus, Japan, *Geographical Review of Japan*, 58B, pp.185-194.
- 吉田功・今村文彦・Andrew Moore (2000): 石垣島における1771年明和と津波の数値解析, 土木学会東北支部技術発表会講演集
- 渡辺偉夫 (1998): 日本被害津波総覧, 東大出版会, 238p