

三陸での地震と津波 ～ 一命を守る情報とは？ ～

東北大学大学院工学研究科

附属災害制御研究センター 教授 今村 文彦

図 - 1

三陸での地震と津波
一命を守る情報とは？

東北大学災害制御研究センター 今村文彦

- 三陸沖での地震活動と発生頻度
- 津波の発生と被害
- 日本海中部地震津波と北海道南西沖地震津波
- 津波情報と避難
- 5月26日・7月26日の地震と災害
- 将来の宮城県沖地震津波の対策に向けて

図 - 3

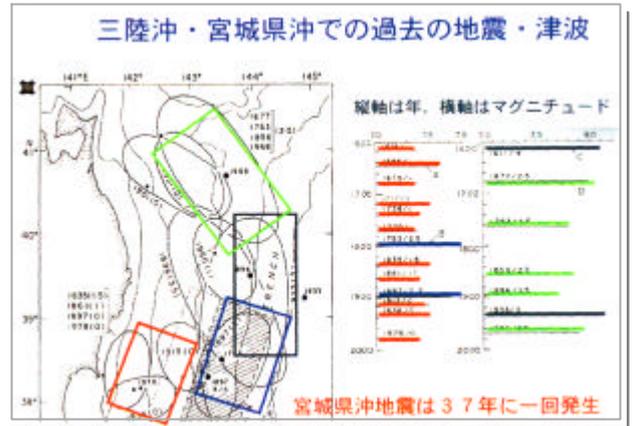
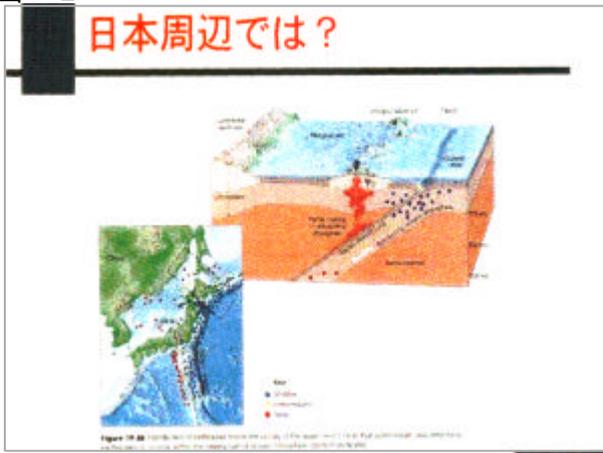


図 - 2



地震の発生箇所には地域性があり、4つの区域に分けることができます。

図は、約1600年頃からのものです。

緑色の区域では5回で、頻度は100年弱、マグニチュード(M)は8弱。

黒色は2回で、頻度は少ないが間隔を空けてM8以上の大きな地震。

赤色(宮城県沖地震)は頻度は高く、大きさは平均してM7.5。

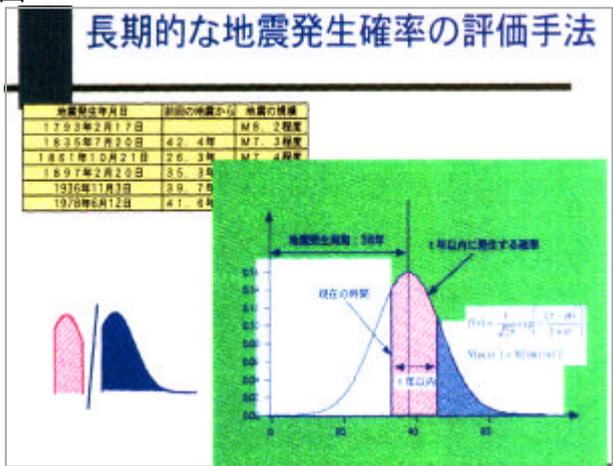
この宮城県沖地震の今後起こる確率は、20年以内で9割近くといわれています。

青色は前回から100年が経過しており、このM7.8クラスの地震が仮に同じ周期で起こるとすると、今起きてもおかしくはなく、周期的にみて、赤色の宮城県沖地震と一緒に起こることが予測されます。私たちはこれを連動型と呼んでおり、今後、この大きな連動型地震に対する対策を考えていかなければなりません。

日本は非常に高い頻度で、地震・津波が起っていてその災害も非常に多いのです。その理由は、日本列島が載っているユーラシア大陸のプレートに太平洋プレートが潜り込んでいますが、ユーラシアプレートの動きに対し太平洋プレートの動きが速いため、プレートの接するところではひずみが起こり、地震活動が起こるためです。

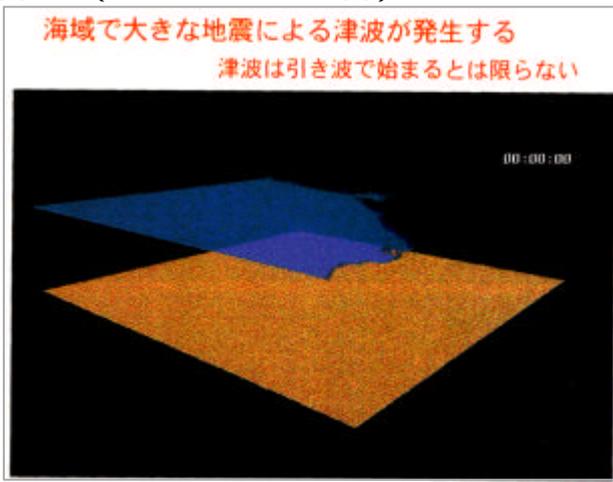
このような地震が海底で起こる場合は、津波が発生することになります。

図 - 4



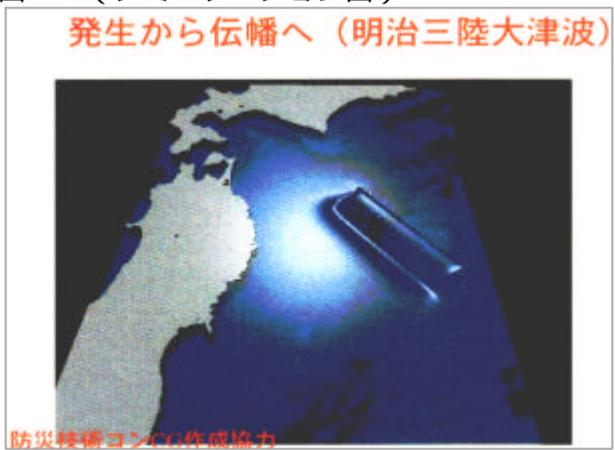
地震の発生確率は、天気予報の確率と違います。天気予報の当たる確率はその時々でランダムですが、地震の発生確率はカウントダウン式です。年々発生確率が高くなっていきます。宮城県沖地震は、周期が約 37 年で、前回から 20 年ほど経過していますから、今後 20 年のうちに起こり得る確率は、88 %。30 年とすると、90 % 以上、100 % に近い確率で起こることが予想されます。

図 - 5 (シミュレーション図)



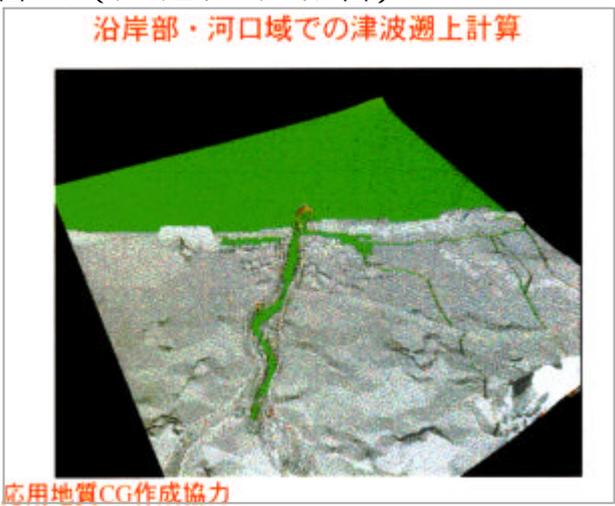
地震によって海底（茶色）が隆起すると海面は隆起した長い方向と 90 度の向きに大きく変化する性質があります。したがって、プレート境界面で発生した場合、陸側に押し寄せることとなります。また、陸側は水深が浅くなっていますのでその高さは数倍から 10 倍にもなって押し寄せることとなります。

図 - 6 (シミュレーション図)



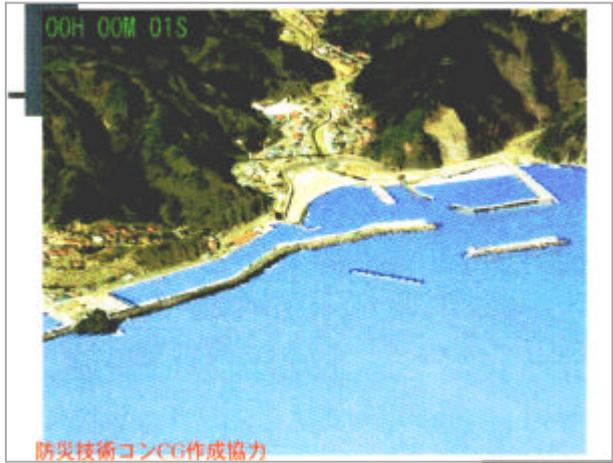
津波の伝播速度は、深いところで時速 700km を越える早さで、この場合わずか 20 分から 30 分で到達します。また、津波は沿岸部の複雑な地形によって増幅します。

図 - 7 (シミュレーション図)



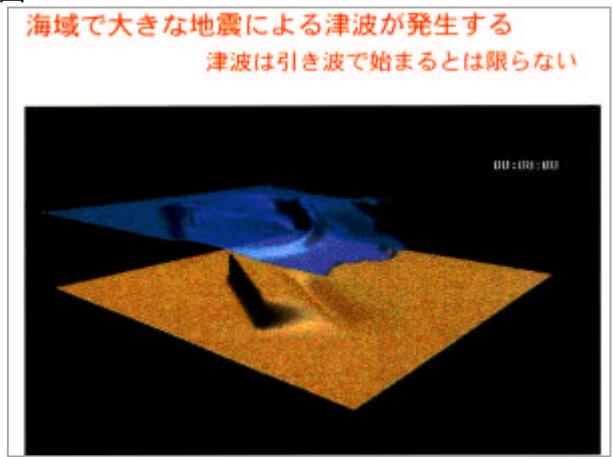
津波は沿岸部に近づくに従って遅くなりますが、それでも毎秒数mの速さがあり、地形の低いところに入ってきます。特に河川ではスピードを伴って海岸部から数 100m も遡上してきます。

図 - 8 (シミュレーション図)



明治三陸沖地震による、ある集落の図です。
 この図は、当時の港に防波堤や防潮堤などを作った場合の津波のシミュレーションを行ったものです。このときは引き波から始まり、押し波になります。これらの構造物によって津波はかなりくい止められます。もし、これらの構造物がなければ倍以上の被災になります。しかし、この施設によって津波を 100% くい止めることができるわけではありません。
 この図のように、現在では津波のシミュレーションをすることで、予め、いつ、どの方向から、どの位の高さの津波が来るかを知り、防災対策ができるようになりました。

図 - 9



津波は引き波で始まることが多いが、必ずしもそうではありません。隆起した海底の長方向の両端では変化がありませんので、その周辺の沿岸部では引き波を伴わず押し波からやってくることになり、「津波は引き波から」との固定観念は、避難を遅らせることになります。

図 - 10 (写真)



これは、ある漁港の写真です。津浪が漁港防波堤を越波し、係留している漁船を呑み込む様子が写されています。

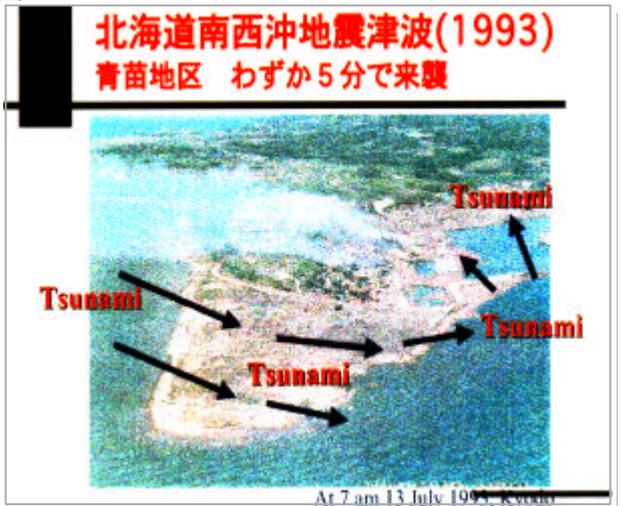
およそ 20 年前の昭和 58 年 5 月 26 日 午前 11 時 59 分、M7.7 の日本海中部地震で津波が発生しました。

秋田県能代沖の海域を震源とする、日本海側として過去最大の地震です。犠牲者 104 人のうち 100 人が津波によるものでした。犠牲者は、港湾工事の作業員が 35 名、遠足に来ていた子供が 13 名、釣り客などでした。

津波は予想以上に速く押し寄せました。しかし、男鹿半島の男鹿水族館では津波警報を待たず高台に避難したため、被災者は出ませんでした。水族館では 20 年前の新潟地震津波を教訓にしています。これは、津波の経験が生かされた例です。

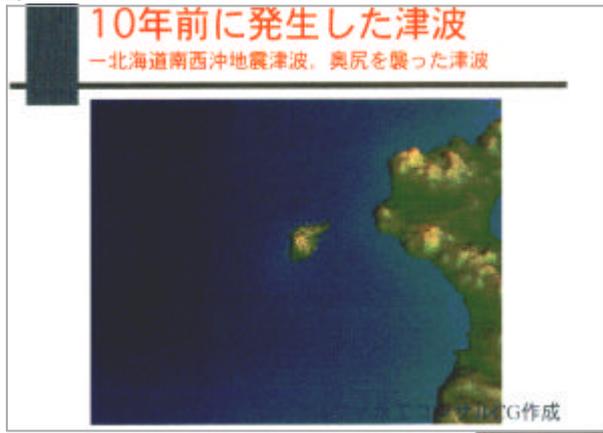
このときから現在、20 年が経ってしまいましたが、この事例から言えることは、いかに迅速に避難すれば人命が助かるか、それが遅れば被害がでるかがわかります。

図 - 11



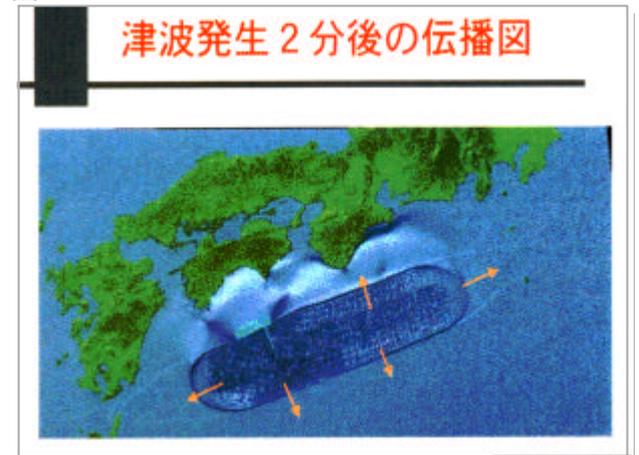
平成 5 年 7 月 12 日 午後 10 時 17 分、奥尻島の西側で発生。マグニチュードは 7.8、青苗地区では揺れを感じてからわずか 5 分で津波の第 1 波が到来し、場所によっては高さ 30m を越え、家屋は跡形も無く流されました。

図 - 1 2



奥尻島を襲った津波のシミュレーション図です。津波はいろんな所で反射し何波も何波もやってきて、ほかの地域にも波及し、それが何時間も続きます。

図 - 1 5



津波は発生源では長方形の形をしています。この短軸方向に大きな津波が発生するため、この方向にある沿岸部に押し寄せることになります。

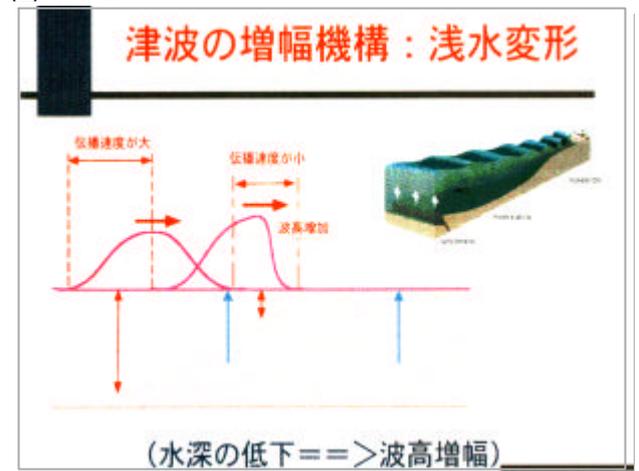
図 - 1 3

奥尻島での避難

- 地震発生後わずか5分程度で来襲
- 日本海中部地震津波の経験・記憶が避難行動に影響
 - 行動をとれなかった；前回、30分程度の来襲時間
 - 迅速な行動をとれた；揺れ方が前回と違う
- 経験、体験（固定された）は、そのまま適用できない
- 発生条件が変われば災害も変化する。

聞き取り調査では、避難した人は「日本海中部地震の時とは揺れ方が違っていた。揺れが収まった後、直ちに高台に避難した。」と語っています。

図 - 1 6



津波の伝搬速度は水深が深いほど速く、浅いほど低下します。

伝搬速度は、

$$(\text{重力加速度}(9.8) \times \text{水深}) = \quad \text{m/s}$$

例えば、水深が4000mであれば、

$$(9.8 \times 4000) \text{ で、秒速はおおよそ } 200 \text{ m}$$

、時速 720km になります。また、水深 10m では、秒速 10 m 、時速 36km で、これも決して遅い速度ではありません。

このことから、津波は沿岸部に向かうとき、深い方から浅い方へ進むため、後部が前部に追い付くようになり波長が短くなります。この分だけ波高が増幅することになります。発生時の波高は沿岸部に到達するときには数倍の波高に増幅されることになります。

津のような狭い沿岸部では、更に大きな津波が来襲することになります。

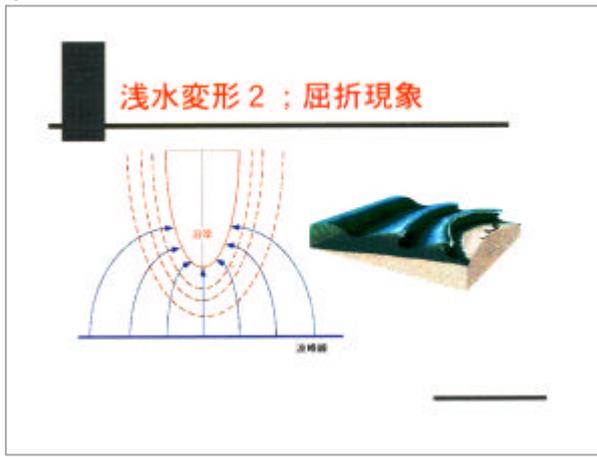
図 - 1 4

どうして津波は大きくなるの？

—伝播・増幅機構

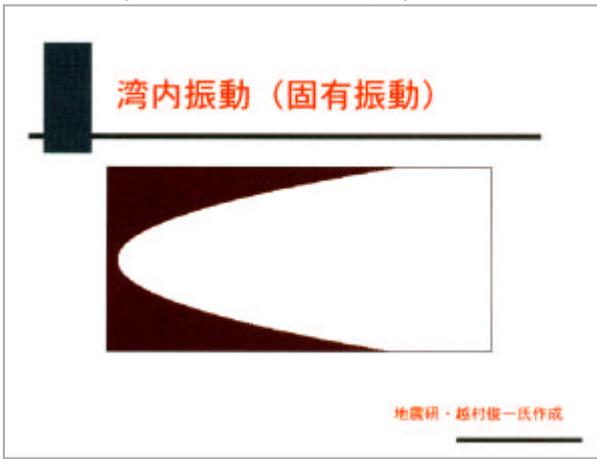
- 指向性
- 浅水変形
- 屈折
- 固有振動

図 - 17



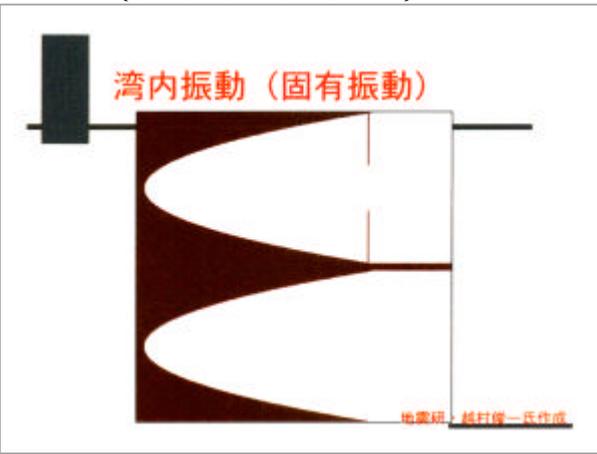
岬の先端付近でも、先端の浅い部分と周辺の深い部分との水深の違いによる屈折現象によって津波が発生することになります。

図 - 18 (シミュレーション図)



湾港など狭隘な地形に入り込んだ津波は、固有の振動をします。まるでブランコをタイミング良く後押しすると揺れが増幅されるように、後からやってくる津波との周期が合うとエネルギーが高まってきます。

図 - 19 (シミュレーション図)



湾口などに防潮堤や防波堤などの構造物を敷設すると、直接的な津波の被害を食い止めることができますとともに、固有振動周期を変え、増幅を押さえることができます。

しかし、このような構造物の敷設には数百億、数千億円という莫大な経費が掛かります。

図 - 20

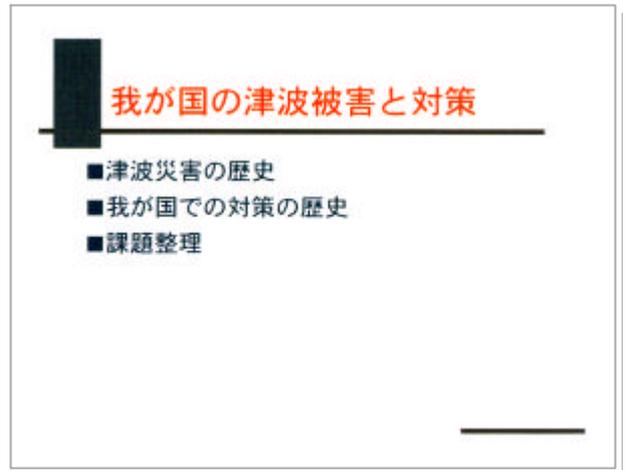


図 - 21

過去の津波災害

年	津波名	国	犠牲者
1741	津島大島(火山)	日本	2,000以上
1782	リスザン	フィリピン	62,000
1792	八景山	日本	6,200
1808	アムステルダム	オランダ	1,000
1817	高野島(火山)	日本	15,000
1833	インドネシア	インドネシア	10,000
1854	安芸灘	日本	3,000
1864	安芸灘	日本	数千
1868	サンフェル(火山)	インドネシア	2,000
1868	サリ	サリ	25,000
1883	スマタラ(火山)	インドネシア	36,000
1894	明治三陸	日本	22,000
1905	サリ	サリ	1,100
1927	サリ	サリ	1,000
1933	阿蘇川	日本	2,000
1940	阿蘇川	日本	1,200
1940	阿蘇川	日本	1,200
1960	サリ	サリ	2,700(日本1,000)
1974	スマタラ	インドネシア	1,000
1982	フーレス	インドネシア	1,700
1984	シラサ	パプアニューギニア	2,000以上

9 in JPN, 4 in Indonesia, 3 in Chile out of 25

この図は、1700年以降世界で1000人以上の犠牲者を出した地震津波を掲載したものです。この内、3分の1が我が国で発生したものです。津波は頻度は少ないものの、一度起これば数千人の犠牲を被ることになります。

右の絵は、明治三陸地震津波による被災の状況を絵図にした、世界でも非常に珍しいものです。

図 - 2 2

昭和三陸大地震津波

年月日	津波イベント名	主な被害・課題	対策
1933.3.3	昭和三陸地震津波	3,064名犠牲（内行方不明1,542名） 三陸沿岸に甚大な被害 大船渡・太郎・釜石で火災	「津波災害予防に関する注意書」の作成(1935) 高地移転（吉浜、田の浜、輪里、宮城根相川で成功）防浪堤建設（田老、吉浜で始まる）、防浪林、護岸 防浪地区の指定、避難道路 津波警戒、津波避難、記念事業
1941.4			仙台地方気象台による三陸沿岸に対する津波警報組織の確立

図 - 2 4

十勝沖地震津波

年月日	津波イベント名	主な被害・課題	対策
1952.3.4	十勝沖地震津波		実施前の津波予報を準用し、効果を収めた。 防波堤・防瀬堤の効果も発揮された。
1952.4.1			気象庁による津波予報システムの開始

図 - 2 3

岩手県・田老町での被害

- 被害家屋 505 戸、死者行方不明 911 人。
- 津波に加え火災も発生し、焼死者 3,40 人。

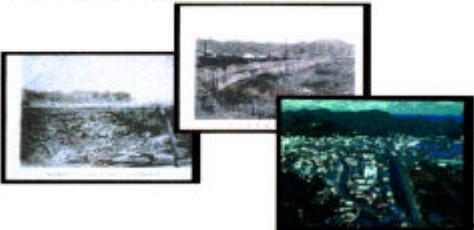


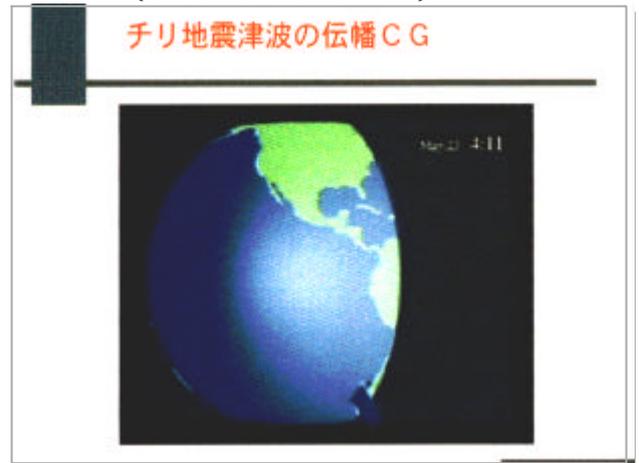
図 - 2 5

チリ地震津波

年月日	津波イベント名	主な被害・課題	対策
1960.5.24	チリ地震津波	142名犠牲者 津波警報発令されず 北海道から沖縄にかけての広い地域	国際太平洋津波警報センターの設立 津波防波堤の建設（大船渡） 津波高潮防瀬堤の建設（全国の沿岸） 津波水門が初めて建設される

津波対策として、防浪地区の指定、防浪堤の設置や住民の高地移転などの施策を行っても、数年数十年と年を経ると大きな被害を出した地区でさえも住民の防災意識が薄れていってしまい、利便性などのために施設の海側にいつの間にか移り住んだり、カラオケ店を営業したりと、いざというときに逃げ場のない状態をつくるというケースもあります。

図 - 2 6（シミュレーション図）



1960年(S35)5月24日、チリ地震津波が発生しました。地震の規模は、M8.5～M9以上、津波が発生した距離は800km（東京-北海道間、海上でいうと東海、東南海、南海が合わさった距離）、という巨大なものでした。この長軸に対して短軸はちょうど日本に向くものでした。津波はおよそ18時間後にハワイ島に到達し、特にヒロという

地域で大きな被害をもたらしました。この情報は日本にも伝えられましたが、まさか日本にまで襲来するとは考えませんでした（もちろん地震の揺れもありません。）。しかし、その後日本にも襲来することになります。17,000 キロの距離を時速はおよそ 720km、24 時間弱で到達しました。周期は約 1 時間（通常は 10 ~ 20 分）で、最初は引き波から始まり、洪水のように押し寄せました。犠牲者の数は、142 名にも達しました。

図 - 2 7 (写真)



左の写真は、大船渡の漁船開運丸が打ち上げられ、大破した写真です。右の写真は、志津川の航空写真で、バスや船が流されたり、打ち上げられたりした様子が写されています。

図 - 2 8

新潟・十勝沖地震津波			
年月日	津波イベント名	主な被害・課題	対策
1964.6.16	新潟地震津波	26名犠牲者 津波・石油タンク被害・火事が連動した液状化による被害大	
1968.5.16	十勝沖地震津波	52名犠牲者（ほとんどが地震による） 防波堤の機能発揮	

新潟地震では津波は大きくなかったものの、石油コンビナートが炎上し、漏れだした油は海水の表面で燃え続け、津波によって広範囲に拡散しました。海水も水ですから火を消せそうですが、津波は表面に油を載せて広域に運びます。

図 - 2 9



図 - 3 0

東海沖地震津波の予知			
年月日	津波イベント名	主な被害・課題	対策
1976.8			東海地震の可能性発表 今まで実績のある津波への対策であったが、想定される津波への対策が始まる
1977			静岡県で初めて津波浸水予想図を公表
1983.3			津波常態地帯総合防災対策指針」の作成 計画津波として過去2百年の歴史津波の既往最大 防災施設・地域計画・防災体制の融合 計画津波が防災施設を乗り越えることを許容する

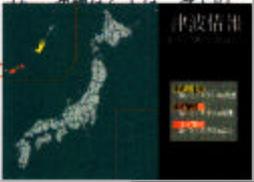
図 - 3 1



図 - 3 2

3月26日石垣沖津波警報

- 量的予報業務開始以降初めて警報（数値）が発表
- 地震発生12時45分48秒
- 津波警報発表12時55分
- 宮古島・八重山地方（津波警報2m）、沖縄本島（注意報0.5m）が発表された。
- 1時20分過ぎには、与那国、石垣島、宮古島などで津波が確認された。津波の大きさは微弱であった。沖縄などでは、港での観測値がリーフなどの影響を受け、異なることがある。
- 予報の解除（13時30分）：観測の



2002年(H14)3月26日午後0時46分頃、石垣島南方150km沖、深さ約10kmでM6.9の地震が発生。沖縄気象台は発生約9分後に津波警報・注意報（過去の地震情報を基にした「量的津波予報」）を発令しました。結果的には発令後15分以内に与那国島久部良、20分以内に石垣島石垣港でそれぞれ5、6cmの微弱な津波が確認されたのみで、その後警報・注意報は解除されました。

しかし、住民は津波警報・注意報が早々に出されているにも関わらず、滅多にない現象に子供連れで海を見に行ったりと、情報の発信者からすると返って裏目に出てしまう結果にもなっています。情報の出し方の問題と、受け手側の意識変革について課題の残るものでした。

図 - 3 3

昨年のアンケート調査結果

亜熱帯総合研究所

- 全体の行動率：1,163人中、66.5%が避難行動をとらなかった
- 年齢別：年齢が高くなるほど、「避難した」割合は高くなる（例示：10・20歳代で15.6%、70歳以上で52%）
- 居住地条件：同じ地盤高の居住者でも、海岸線から離れるほど「避難しない」割合が高まり、200mがその分岐点である。
 - 100m未満で66.7% 300m未満 35.1% 500m未満9.5%

図 - 3 4

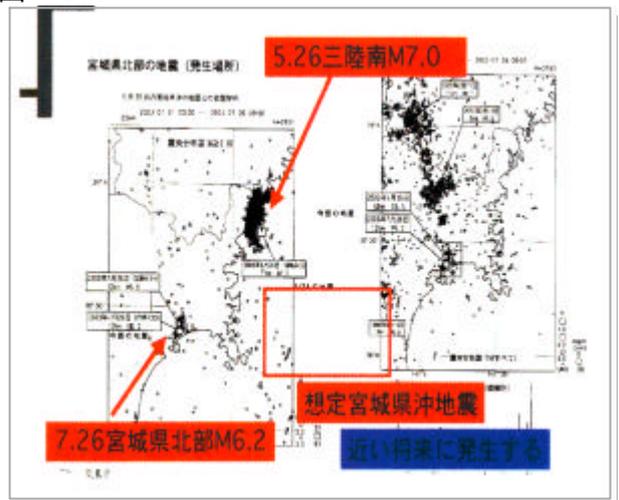


図 - 3 5

5/26 三陸南地震の揺れ

住民の体感した揺れをヒアリングした結果

- 計測震度と体感震度の差は小さく、大船渡が最も大きく、その周辺では震源からの距離が大きくなるほど低下する。その範囲は6弱から4程度。
- 大船渡周辺を除き、7・8年宮城県沖地震時より小さなゆれ。
- 始め突き上げられた後、縦揺れが続き、その後横揺れ、宮城県沖では横揺れが主である。



図 - 3 6

津波の避難行動

■ 133世帯・人 対象

■ 避難できた	13
■ 避難できない	110
■ テレビを見ていた	67
■ 防災無線を聞いていた	6
■ 避難の準備をしていた	5
■ 海へ様子を見に行った	4



気象庁の津波警報など、情報を得ることも大事なことですが、近い地震の場合、わずか数分で津波は押し寄せてきます。海のそばなど低い所の住民は、地震を感じたらまず高台に避難し、その後状況を把握するといった行動が必要です。

図 - 3 7

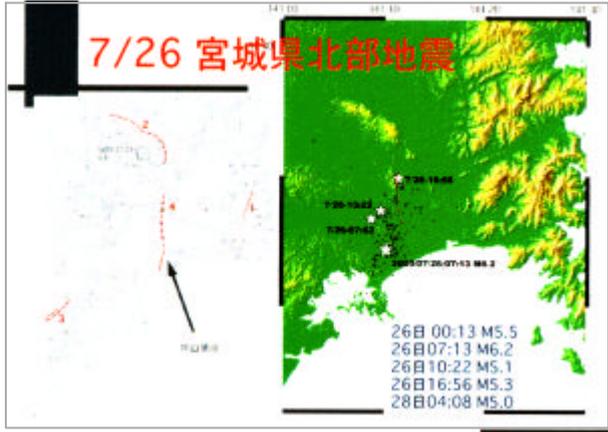


図 - 4 0



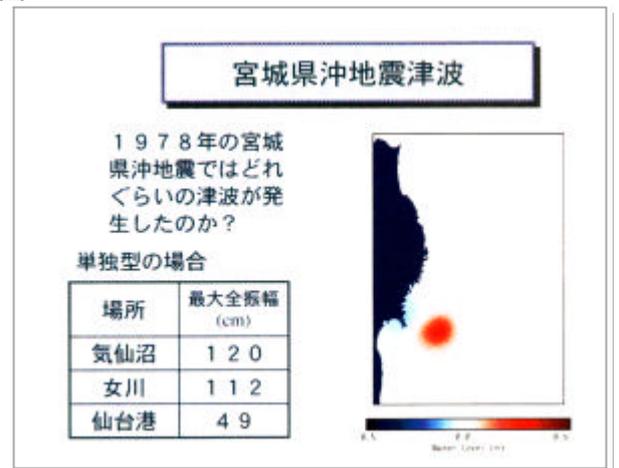
防災対策では、災害時の安全な避難道を事前に決めておくことも大切なことです。

図 - 3 8



地震はその揺れの大きさだけでなく、揺れの加速度も重要な要素です。家屋や塀の倒壊、崖崩れなどの要因になります。

図 - 4 1



現在では、過去の地震津波のいろいろな発生要素を調べることで、今後起こり得る地震津波の種類や規模を想定することができるようになりました。このことで、災害を最小限に食い止める方策を検討することができます。

図 - 3 9



図 - 4 2

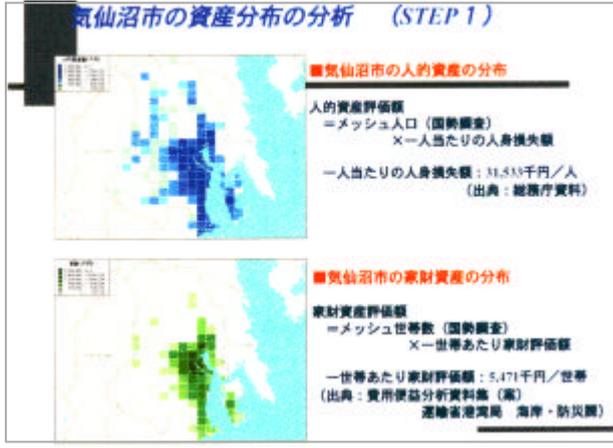


図 - 4 2 ~ 図 - 4 4 は、気仙沼海岸防災研究会による解析結果の一部です。



図 - 4 3

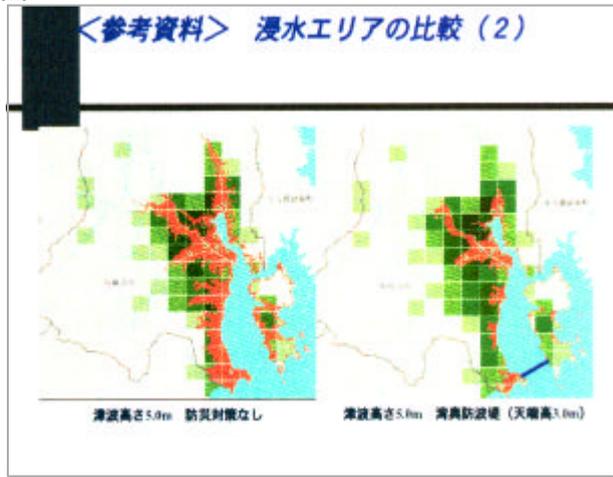
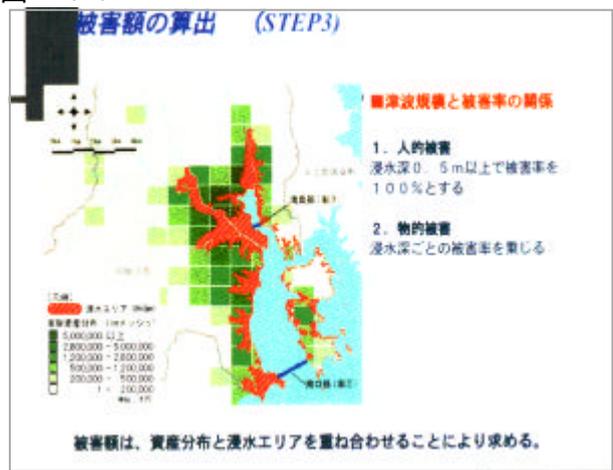


図 - 4 4



本稿は、平成 15 年 9 月 11 日に行われた今村教授のご講演を、同氏からご提供いただいた資料と講演時の記録から作成し、監修いただいたものです。

なお、この講演は、海上保安庁の第 132 回水路記念日に際し、職員、広報による一般市民及び関係機関を対象として第二管区海上保安本部が主催したものです。

講演日：平成 15 年 9 月 11 日
会場：塩竈商工会議所

浸水域や波力を推定することで、津波による被害を想定することが可能となり、これをハザードマップ、被害マップに表示するなど今後起こり得る災害に有用な対策を考えることができます。