

東北地方太平洋沖地震に伴う津波被害の 地域特性と南北格差について

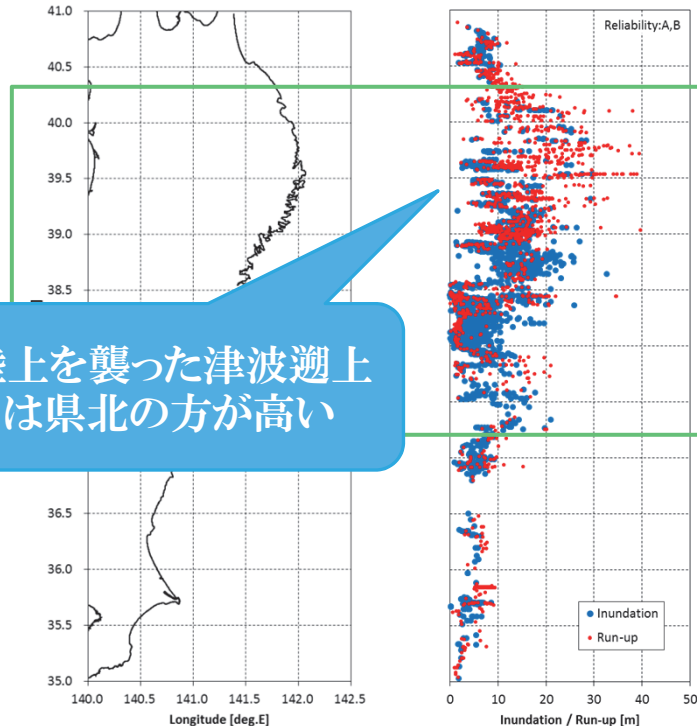
岩手大学地域防災研究センター
自然災害解析部門 柳川 竜一



2013（平成25）年8月30日
第5回地域防災フォーラム：平成24年度活動報告

背景と目的①

- 東日本大震災に伴う津波の人的被害は、東北地方沿岸でも三陸地域で特に大きい
- 津波痕跡は岩手県沿岸で高い傾向があり且つ野田村～宮古市付近が最大、「県南<県北」
- 岩手県での人的・物的被害は「県北<<県南」であるが、津波被害には地域特性があるのか？



現地調査から得られた津波痕跡(浸水高・遡上高)

三陸列

市町村	死者・行方不明者	住家被害
洋野町	0	26
久慈市	4	278
野田村	38	479
普代村	1	0
田野畑村	29	270
岩泉町	7	1,200
宮古市	514	4,005
山田町	753	3,167
大槌町	1,238	3,717
釜石市	1,040	3,655
大船渡市	420	3,934
陸前高田市	1,773	3,341
気仙沼市	1,318	15,761
南三陸町		4,525
石巻市		3,019
女川町		3,934
東松島市		13,493
松島町	2	3,567
利府町	1	4,509
塩竈市	26	10,641
七ヶ浜町	76	3,924
多賀城市	188	11,524
仙台市	684	255,467
名取市	952	13,991
岩沼市	181	5,428
亘理町	269	5,587
山元町	698	4,440

人的・物的被害は、
県南地域ほど多くなる

東日本大震災に伴う市町村別被害

背景と目的②

様々な機関により現地調査が行われており、震災後の様々な視点からの収集データを整理・比較することは数値的に特徴を明らかにするのに有効



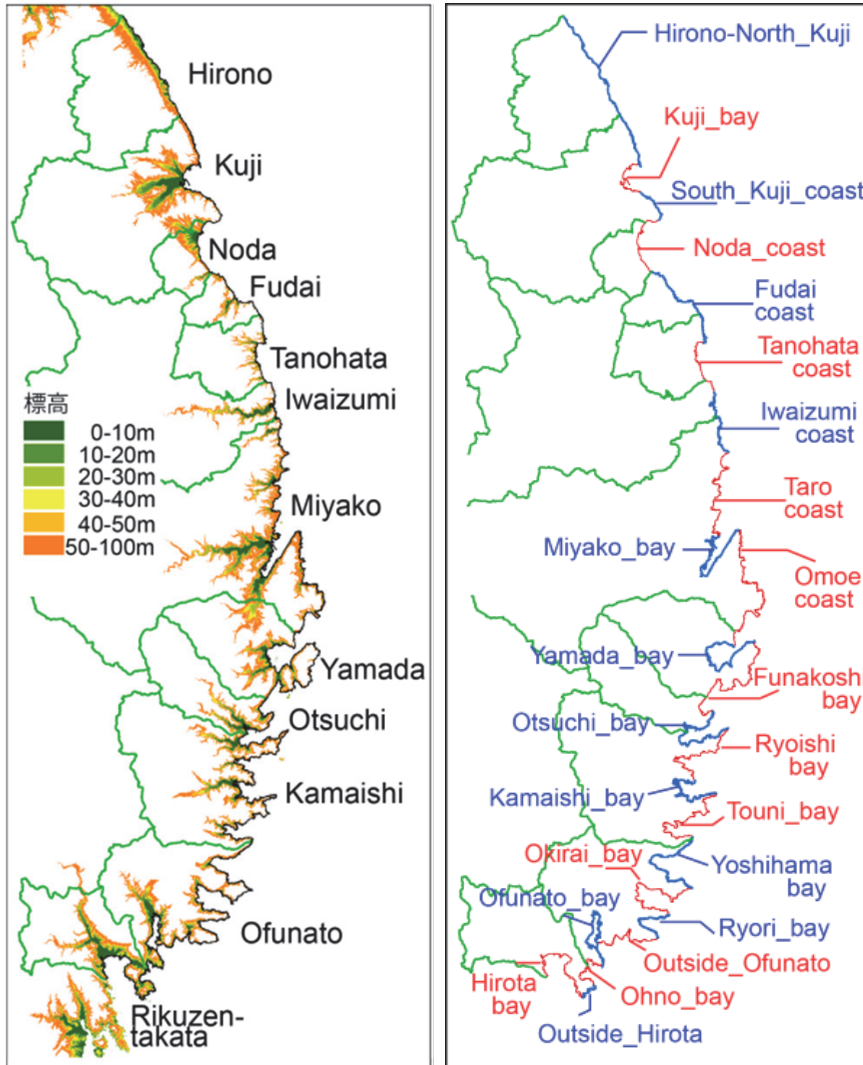
- 岩手県の津波浸水区域に該当する地域に注目し、様々な観測資料からGISを用いて「地理特性」、「来襲津波特性」、「被害建物特性」を整理する
→ 地域特性を明らかにする
- 久慈湾(県北), 宮古湾(県央), 広田湾(県南)の比較を実施して、広田湾の被害が大きかった理由について考察する
→ 津波被害に何故違いがあるのか??

解析に用いたデータセット

- 津波痕跡高(土木学会)
- 震災後の航空測量(国土地理院)
- 津波浸水域(岩手県県土整備部)
- 建物被害(国土交通省)



解析の前提



12市町村および標高

現在の岩手県沿岸は12市町村から形成され、平地が狭く急峻な地形を多く有する県北と平地が比較的広く人口が多く集中している県南に分かれる

24地域海岸

岩手県は3つの指標を用いて同一の津波外力を設定しうると判断される区間を地域海岸として設定

- 同一の湾で区分
- 湾口防波堤が計画されている湾は湾口防波堤の内外で区分
- 海岸線の向きが一様な区間で区分

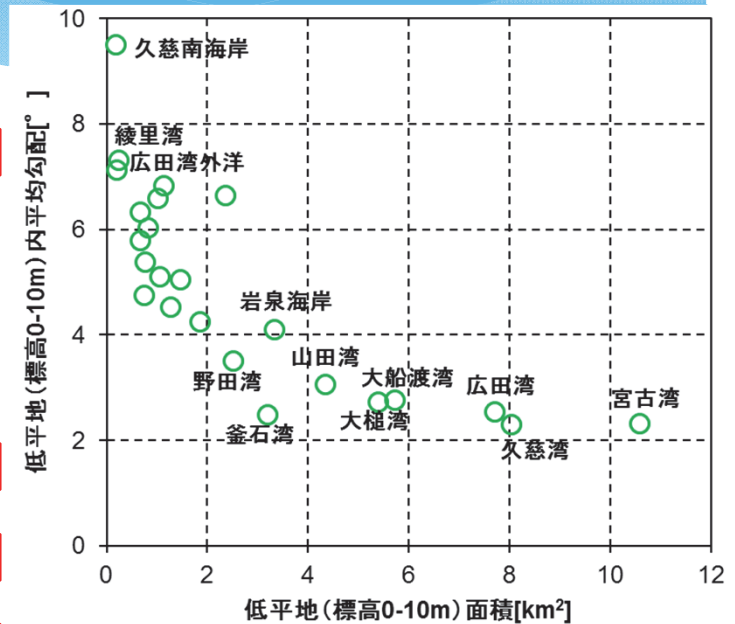


24地域海岸を対象に、地理特性・来襲津波特性・被害建物特性を分析

- 地図はESRI詳細地図-東北- / 標高は震災後における国土地理院基盤地図情報5m解像度の標高データ
- 24地域分類は岩手県県土整備部が設定した条件に従う / 海岸線はESRI詳細地図-東北-の水際線
- 低平地とは標高0-10mと定義

地理特性①

地域 No.	12市町村	24地域海岸	海岸線 km	低平地 km ²	低平地地形勾配°
1	洋野・久慈	洋野～久慈北	51.18	2.360	6.65
2	久慈	久慈湾	21.36	8.033	2.30
3	久慈	南久慈海岸	9.82	0.183	9.51
4	野田	野田湾	16.56	2.511	3.51
5	普代・田野畑	普代海岸	28.99	1.122	6.84
6	田野畑・岩泉	田野畑海岸	15.96	0.744	4.76
7	岩泉・宮古	岩泉海岸	21.85	3.328	4.10
8	宮古	田老海岸	39.26	1.843	4.26
9	宮古	宮古湾	39.99	10.567	2.33
10	宮古	重茂海岸	56.10	1.005	6.60
11	山田	山田湾	33.05	4.342	3.07
12	山田	船越湾	47.80	1.460	5.05
13	大槌	大槌湾	41.91	5.709	2.77
14	釜石	両石湾	35.69	0.663	5.79
15	釜石	釜石湾	36.47	3.189	2.49
16	釜石	唐丹湾	44.05	1.049	5.12
17	大船渡	吉浜湾	38.82	0.658	6.34
18	大船渡	越喜来湾	42.53	0.815	6.04
19	大船渡	綾里湾	21.90	0.225	7.32
20	大船渡	大船渡湾外洋	31.65	0.753	5.39
21	大船渡	大船渡湾	39.85	5.389	2.73
22	陸前高田	大野湾	23.86	1.254	4.54
23	陸前高田	広田湾外洋	9.32	0.194	7.14
24	陸前高田	広田湾	36.36	7.704	2.55
	岩手県全体		784.35	65.099	



- 低平地を標高10m以下の地域と設定している理由は、多くの建物がこの標高帯に存在しているため
- 人口の多い湾地域では、緩やかで低平地面積が広い
- 湾地域以外は海岸線長に対して低平地面積が狭く、背後に段丘や急傾斜地を有している
- 低平地面積と勾配の散布図から、各地域様々な地理特性を有する

地理特性②

地域 No.	24地域海岸	湾口幅 km	面積 km2	最深水深 m	閉鎖度指数
1	洋野～久慈北	-	-	-	-
2	久慈湾	4.26:G	11.78:G	21.64:M	0.81
3	南久慈海岸	-	-	-	-
4	野田湾	8.87:G	20.42:G	28.64:M	0.51
5	普代海岸	-	-	-	-
6	田野畑海岸	-	-	-	-
7	岩泉海岸	-	-	-	-
8	田老海岸	-	-	-	-
9	宮古湾	4.87:E	24.1:E	76:E	1.02
10	重茂海岸	-	-	-	-
11	山田湾	3.94:E	31.96:E	90:E	1.43
12	船越湾	3.1:E	9.4:E	55:E	0.99
13	大槌湾	4.1:E	20.2:E	77:E	1.1
14	両石湾	2.82:G	6.25:G	63.96:M	0.89
15	釜石湾	0.30:G	8.7:E	49:E	9.83
16	唐丹湾	3.5:G	11.1:G	86.68:M	0.95
17	吉浜湾	7.39:G	26.01:G	102.81:M	0.69
18	越喜来湾	2.16:G	18.81:G	91.07:M	2.01
19	綾里湾	4.29:G	9.16:G	77.89:M	0.71
20	大船渡湾外洋	-	-	-	-
21	大船渡湾	0.2:E	7.89:E	38:E	14.04
22	大野湾	3.38:G	8.26:G	44.79:M	0.85
23	広田湾外洋	-	-	-	-
24	広田湾	4.75:E	37.13:E	56:E	1.28



- 閉鎖度指数は環境省HPやGIS取得,海上保安庁の公開資料を用い、下記式から算出

$$I_c = \frac{\sqrt{S} \times D_1}{W \times D_2}$$

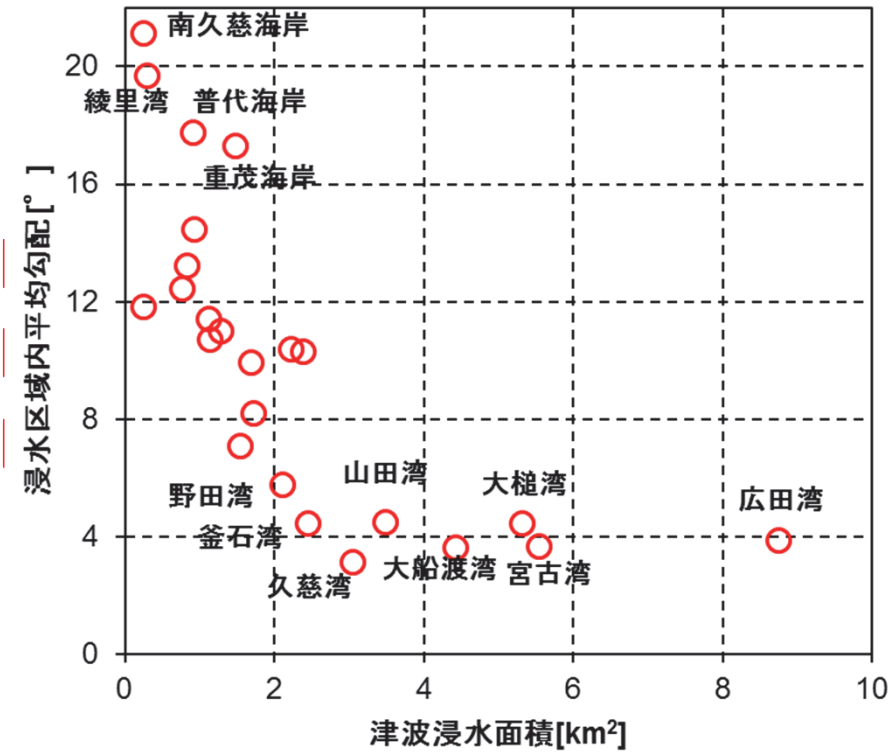
- 海岸線形状は閉鎖度指数が算定不可能(-表示)
- 湾口防波堤が配置されている釜石と大船渡ではともに閉鎖度指数が高い
- 湾口幅に対して湾奥面積が大きい自然地形を有する越喜来湾, 山田湾, 広田湾, 大槌湾では隣接する地域よりも閉鎖度が高い

→来襲津波特性で比較

・GはGISのツールで取得した距離や面積／・Eは環境省ホームページ掲載情報
 ・Mは海上保安庁水路部発行のM7005シリーズ水深から取得した水深／・Wは対象となる海域の入り口の幅
 ・Sは対象となる海域の内部の面積／・D₁とD₂はそれぞれ対象となる海域内部および入り口での最深部の水深。

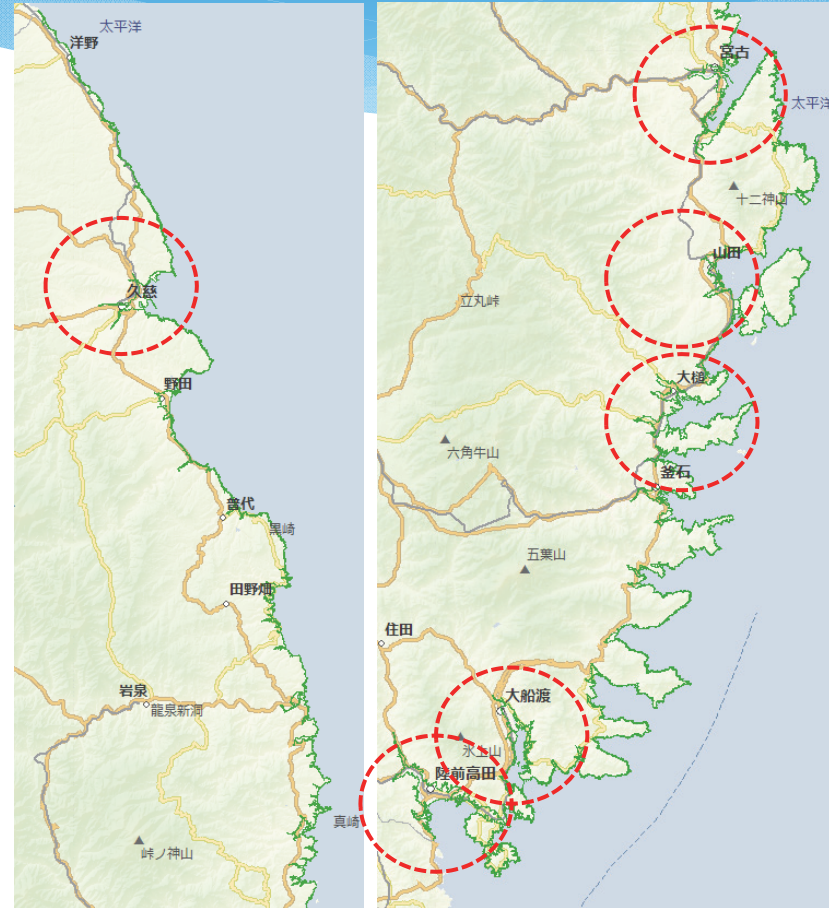
来襲津波特性①

地域 No.	24地域海岸	浸水地域 km2	地形勾配 °
1	洋野～久慈北海岸	1.72	7.67
2	久慈湾	3.08	2.76



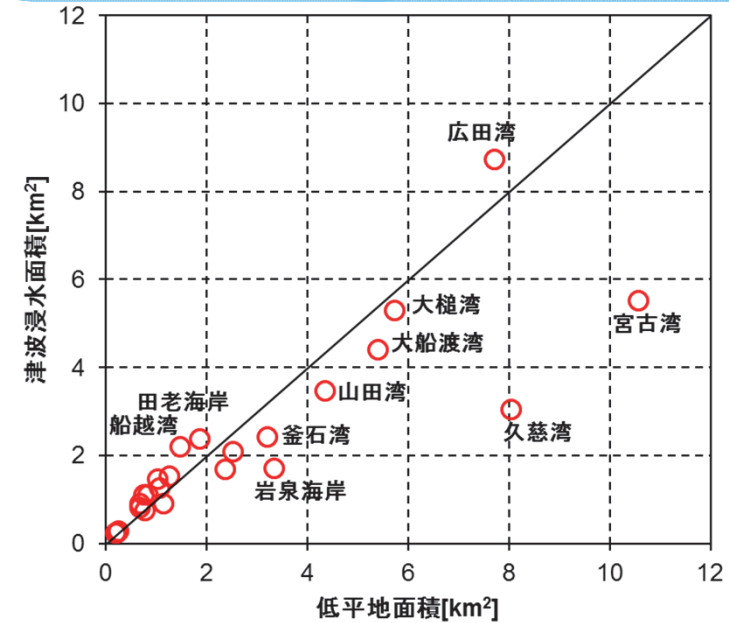
20	大船渡湾	4.44	2.80
22	大野湾	1.54	5.41
23	広田湾外洋	0.25	8.26
24	広田湾	8.94	3.18
	岩手県全体	53.45	

- ・遡上境界線は岩手県県土整備部より提供
- ・浸水面積は震災後における国土地理院基盤地図情報5m解像度の標高値の地点数を換算して算出
- ・地形勾配は震災後における国土地理院基盤地図情報5m解像度の標高値を10mインデックスに変換して算出



- 津波浸水面積が広い湾(広田・宮古・大槌・大船渡・山田・久慈)では広い低平地を有しており、総じて平均地形勾配も緩やかで3.5°を下回った
- 津波浸水面積が狭い海岸では平均地形勾配が高く、南久慈・綾里・普代・重茂では15°を上回る

来襲津波特性②



- 津波浸水面積は今回設定した低平地（標高10m以下）面積とほぼ同等もしくはやや下回る地域が多かった
- 宮古湾や久慈湾では、津波浸水面積が低平地面積を大きく下回ったのに対し、広田湾・田老海岸・船越湾の津波浸水面積は低平地面積よりも広がった

来襲津波特性③

地域 No.	24地域海岸	観測値 浸水高 T.P.+m	観測値 遡上高 T.P.+m	閉鎖度 指数	推定値 痕跡最高 T.P.+m
1	洋野～久慈北海岸	5.37～8.19	6.19～22.93	-	39.2
2	久慈湾	6.06～14.04	4.13～32.52	0.81	48.4
3	南久慈海岸	6.98～11.86	4.56～16.67	-	43.0
4	野田湾	7.35～23.08	4.92～38.08	0.51	36.2
5	普代海岸	8.81～23.66	5.88～23.44	-	45.6
6	田野畑海岸	19.64～28.33	11.75～27.44	-	32.6
7	岩泉海岸	4.58～28.46	2.88～32.97	-	48.5
8	田老海岸	7.07～28.94	6.25～37.93	-	43.8
9	宮古湾	0.07～12.37	2.35～23.61	1.02	36.2
10	重茂海岸	10.05～29.52	13.02～38.92	-	49.9
11	山田湾	4.84～10.94	4.17～14.71	1.43	36.5
12	船越湾	9.82～22.12	13.50～29.32	0.99	49.8
13	大槌湾	6.90～14.74	8.20～17.14	1.1	36.2
14	両石湾	11.00～17.96	9.60～30.13	0.89	41.7
15	釜石湾	4.73～15.93	3.81～24.10	9.83	34.5
16	唐丹湾	10.73～20.87	8.81～21.14	0.95	42.7
17	吉浜湾	11.03～21.43	13.88～21.72	0.69	45.0
18	越喜来湾	10.13～17.45	11.21～18.50	2.01	45.2
19	綾里湾	15.96～26.39	9.33～31.51	0.71	44.1
20	大船渡湾外洋	8.20～14.34	6.79～20.62	-	39.5
21	大船渡湾	4.50～10.55	6.15～15.41	14.04	26.8
22	大野湾	9.95～16.80	10.46～19.85	0.85	27.2
23	広田湾外洋	11.46～14.17	11.88～15.79	-	34.8
24	広田湾	8.12～18.34	6.57～21.88	1.28	27.0

□ 観測値から、津波遡上高は湾地形(宮古・山田・大槌・釜石)で低下する傾向がみられ、重茂半島がある県中央域付近で最も高かった

□ 隣接する地域間において、閉鎖度指数が高いほど観測値・推定値は隣接する地域よりも低い痕跡高 →閉鎖度は痕跡高を把握する一つの指標となり得る

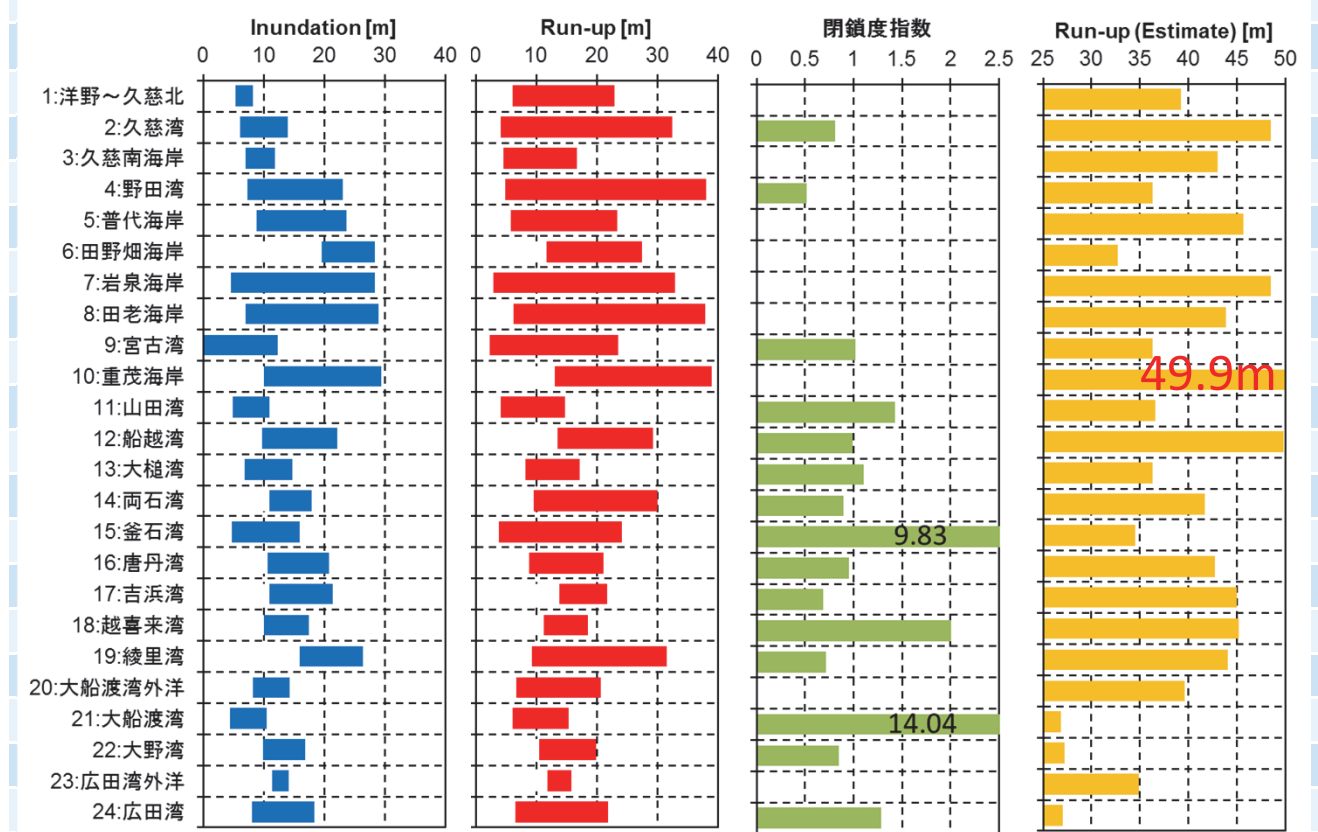
□ 津波遡上境界線から推定された痕跡最大値は観測で得られた遡上高よりも高い傾向があり、重茂海岸で49.9mの可能性

・ 観測値は土木学会合同調査グループの信頼度Aデータのみ採用 / ・ 推定値は遡上境界近傍の標高データを抽出

来襲津波特性③

地域 No.	24地域海岸	観測値 浸水高 T.P.+m	観測値 遡上高 T.P.+m	閉鎖度 指数	推定値 痕跡最高 T.P.+m
--------	--------	----------------------	----------------------	-----------	-----------------------

1	洋野～久慈北海岸	5.37～8.19	6.19～22.93	-	39.2
2	久慈湾	6.06～14.04	4.13～22.52	0.81	48.4



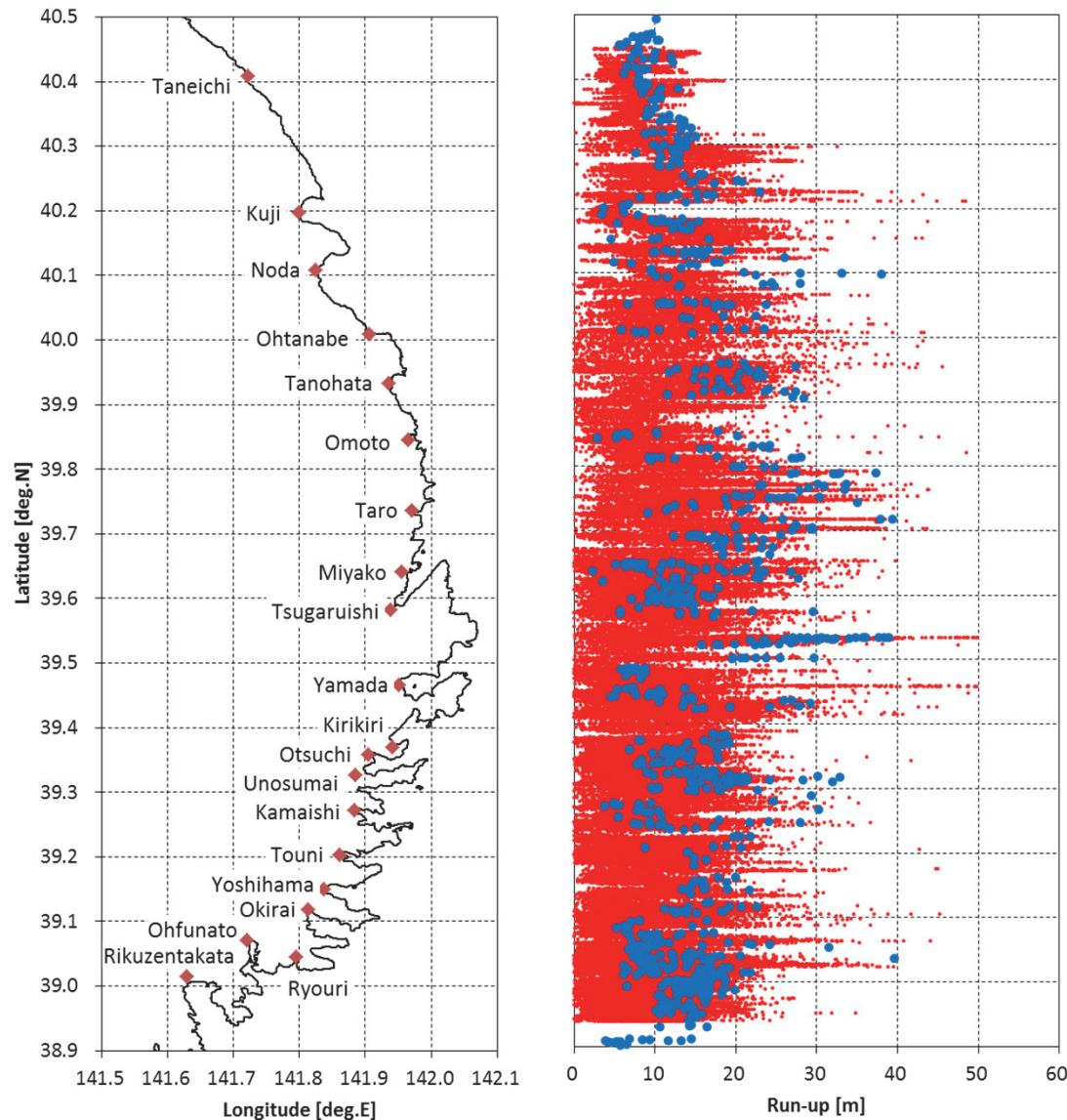
□ 観測値から、津波遡上高は湾地形(宮古・山田・大槌・釜石)で低下する傾向がみられ、重茂半島がある県中央域付近で最も高かった

□ 隣接する地域間において、閉鎖度指数が高いほど観測値・推定値は隣接する地域よりも低い
→閉鎖度は痕跡高を把握する一つの指標となり得る

□ 津波遡上境界線から推定された痕跡最大値は観測で得られた遡上高よりも高い傾向があり、重茂海岸でT.P.+49.9mの可能性

・ 観測値は土木学会合同調査グループの信頼度Aデータのみ採用 / ・ 推定値は遡上境界近傍の標高データを抽出

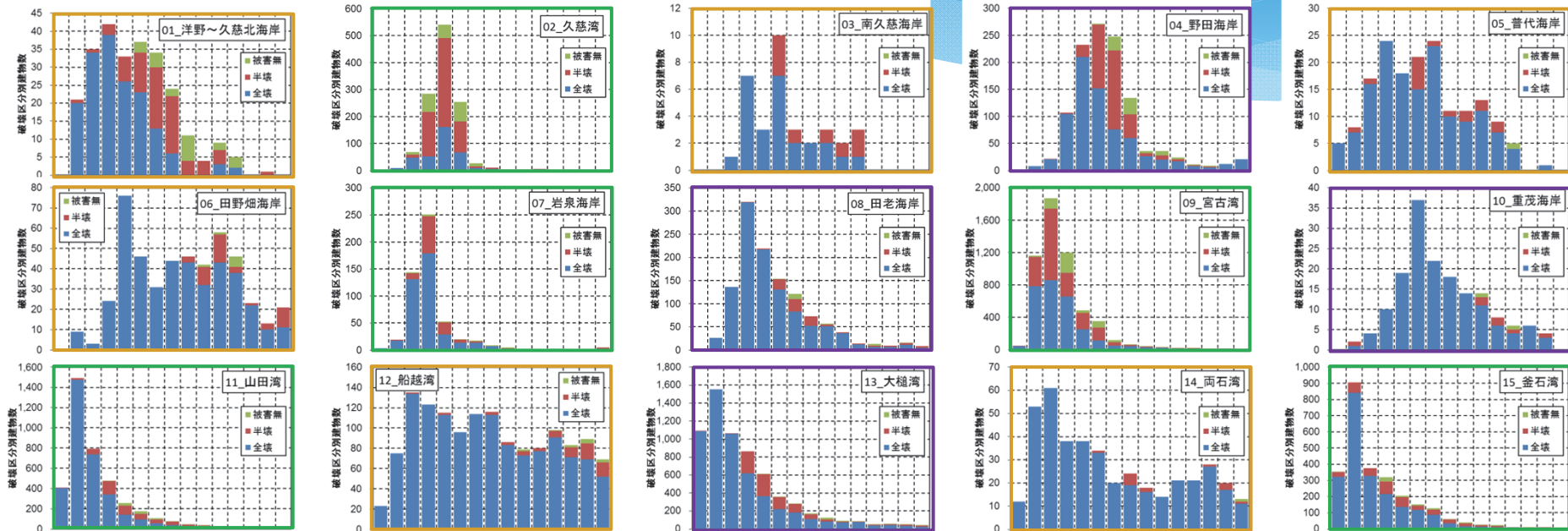
来襲津波特性④



- 津波遡上高の大きさは、地理的な条件に左右されており、局所的にT.P.+40mを越える痕跡は岩手県全域で見られる
- 津波遡上高が大きい地域・場所の特徴として、急峻な崖地形、太平洋に面している若しくは湾口地域、海岸保全施設が未整備、河川や峡谷のような断面形状が標高の上昇とともに小さくなる箇所が挙げられる

- ・ 赤点：遡上境界線より推定された津波遡上高さ、青点：土木学会合同調査チームの測定値
- ・ 観測値は土木学会合同調査グループの信頼度Aデータのみ採用 / ・ 推定値は遡上境界近傍の標高データを抽出

被害建物特性①



標高は0m~15mについて、1m幅で設定している

□ 岩手県内における津波浸水区域の建物(倉庫やトレイなど全て含む)は45,136棟あり、被害が明らかで標高が推定できる建物は44,300棟

□ 各建物の標高を推定し、1m幅毎に分布を整理すると、以下の3つのタイプに分類できる

①緑:突出して優占する標高がある:久慈・岩泉・宮古・山田・釜石・広田

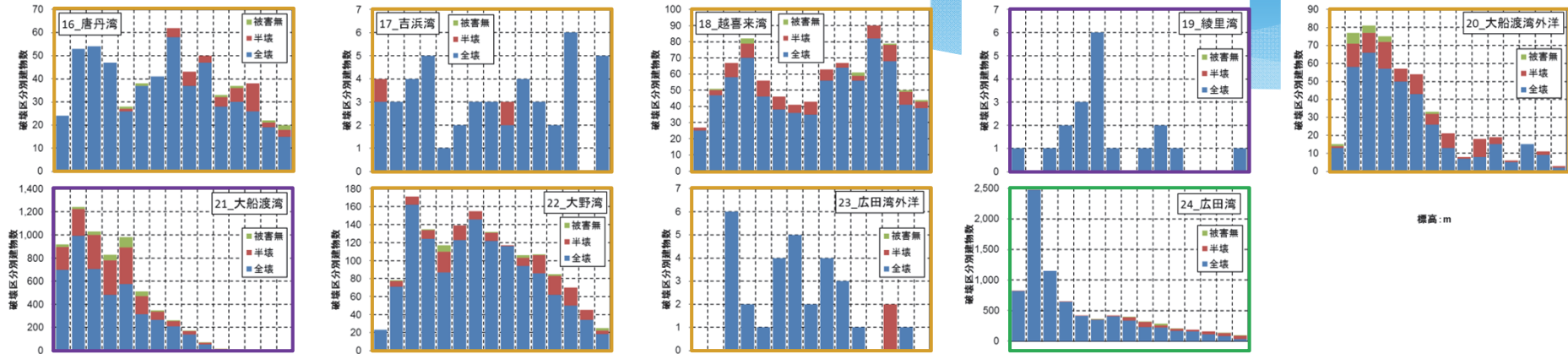
②紫:優占する標高があるが分布幅が広い:野田・田老・重茂・大槌・綾里・大船渡

③橙:優占する標高がない若しくは優占する標高が複数ある:洋野・南久慈・普代・田野畑・船越・両石・唐丹・吉浜・越喜来・大船渡湾外洋・大野・広田湾外洋

人口が多い地域は①もしくは②の特徴を有している

□ 標高別で建物の被害程度(全壊・半壊・被害無)を整理すると、標高が低い程全壊割合が高い

被害建物特性①



標高は0m~15mについて、1m幅で設定している

- 岩手県内における津波浸水区域の建物(倉庫やトレイなど全て含む)は45,136棟あり、被害が明らかで標高が推定できる建物は44,300棟
- 各建物の標高を推定し、1m幅毎に分布を整理すると、以下の3つのタイプに分類できる
 - ①緑:突出して優占する標高がある:久慈・岩泉・宮古・山田・釜石・広田
 - ②紫:優占する標高があるが分布幅が広い:野田・田老・重茂・大槌・綾里・大船渡
 - ③橙:優占する標高がない若しくは優占する標高が複数ある:洋野・南久慈・普代・田野畑・船越・両石・唐丹・吉浜・越喜来・大船渡湾外洋・大野・広田湾外洋
 人口が多い地域は①もしくは②の特徴を有している
- 標高別で建物の被害程度(全壊・半壊・被害無)を整理すると、標高が低い程全壊割合が高い

被害建物特性②

地域 No.	24 地域分類	浸水域内 建物数	全壊 %	半壊 %	被害無 %	羽鳥の 破壊率
1	洋野～久慈北海岸	256	64.8	27.0	8.2	78.3
2	久慈湾	1207	29.7	53.1	17.1	56.3
3	南久慈海岸	35	74.3	25.7	0.0	87.1
4	野田海岸	1180	63.4	30.2	6.4	78.5
5	普代海岸	170	90.0	9.4	0.6	94.7
6	田野畑海岸	542	88.6	9.4	2.0	93.3
7	岩泉海岸	538	75.1	22.1	2.8	86.2
8	田老海岸	1235	90.4	7.6	2.0	94.2
9	宮古湾	5427	52.6	37.1	10.3	71.2
10	重茂海岸	207	91.8	7.2	1.0	95.4
11	山田湾	3919	85.4	12.4	2.3	91.6
12	船越湾	1516	91.3	6.5	2.2	94.6
13	大槌湾	6561	85.6	13.4	1.0	92.3
14	両石湾	486	95.9	3.9	0.2	97.8
15	釜石湾	2665	81.3	16.0	2.7	89.3
16	唐丹湾	687	87.6	10.2	2.2	92.7
17	吉浜湾	55	94.5	3.6	1.8	96.4
18	越喜来湾	903	87.9	11.0	1.1	93.4
19	綾里湾	22	100.0	0.0	0.0	100.0
20	大船渡湾外洋	514	79.4	17.7	2.9	88.2
21	大船渡湾	6385	69.5	26.0	4.5	82.5
22	大野湾	1516	87.3	11.4	1.3	93.0
23	広田湾外洋	28	94.3	5.7	0.0	97.1
24	広田湾	8246	93.0	6.1	0.9	96.1

- 浸水区域内にある建物を「全壊」・「半壊」・「被害無」に分類し羽鳥の破壊率を算定

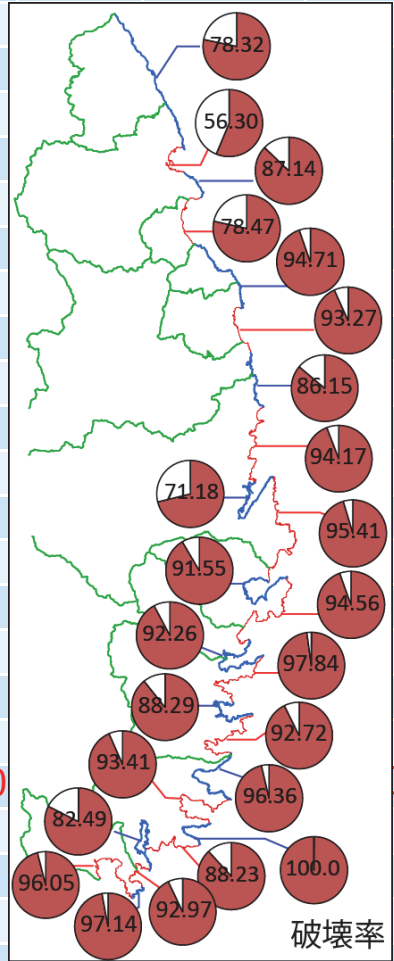
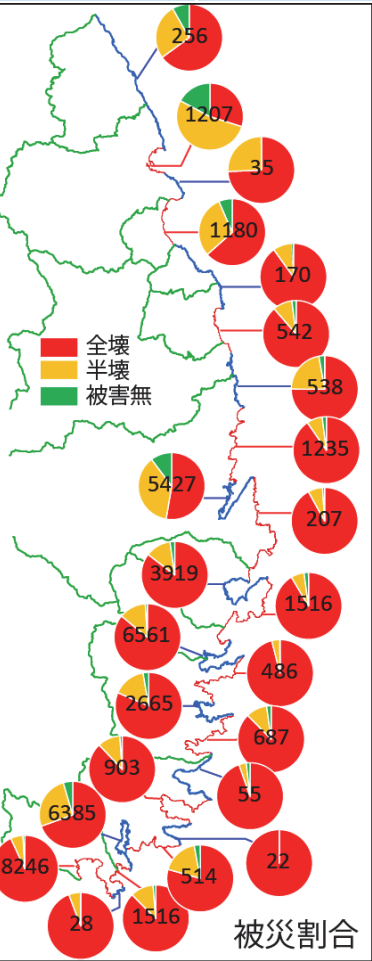
$$\text{破壊率}[\%] = \frac{(\text{全壊} + 0.5 \times \text{半壊}) \times 100}{(\text{全壊} + \text{半壊} + \text{被害無})}$$

- 全壊割合は、久慈湾や宮古湾をのぞきいずれも6割以上
- 半壊割合は、県北地域や宮古湾・大船渡湾で25%以上
- 被害無割合は、久慈と宮古で10%を超えたが、他は低くほとんど0%の地域も存在
- 破壊率は、久慈・宮古・野田を除きいずれも80%以上

浸水区域内建物数は国土交通省調査のデータ、全壊は「全壊（流出），全壊（撤去），全壊（条件付再生可）」、半壊は「大規模半壊，半壊（床上浸水）」、被害無は「一部破損（床下浸水），被害無」、破壊区分不明はカウントに含めず

被害建物特性②

地域 No.	24 地域分類	浸水域内 建物数	全壊 %	半壊 %	被害無 %	羽鳥の 破壊率
1	洋野～久慈北海岸	256	64.8	27.0	8.2	78.3
2	久慈湾		29.7			3.3
3	南久慈		74.3			0.1
4	野田海	1207	63.4			0.5
5	普代海	35	90.0			0.7
6	田野畑		88.6			0.3
7	岩泉海	1180	75.1			0.2
8	田老海	170	90.4			0.2
9	宮古湾	542	52.6			0.2
10	重茂海	538	91.8			0.4
11	山田湾		85.4			0.6
12	船越湾	1235	91.3			0.6
13	大槌湾	5427	85.6			0.3
14	両石湾	207	95.9			0.8
15	釜石湾	3919	81.3			0.3
16	唐丹湾	6561	87.6			0.7
17	吉浜湾	486	94.5			0.4
18	越喜来	2665	87.9			0.4
19	綾里湾	903	100.0			0.0
20	大船渡	6385	79.4			0.2
21	大船渡	8246	69.5			0.5
22	大野湾	514	87.3			0.0
23	広田湾	20	94.3	5.7	0.0	97.1
24	広田湾	8246	93.0	6.1	0.9	96.1



- 浸水区域内にある建物を「全壊」・「半壊」・「被害無」に分類し羽鳥の破壊率を算定

$$\text{破壊率}[\%] = \frac{(\text{全壊} + 0.5 \times \text{半壊}) \times 100}{(\text{全壊} + \text{半壊} + \text{被害無})}$$

- 全壊割合は、久慈湾や宮古湾をのぞきいずれも6割以上
- 半壊割合は、県北地域や宮古湾・大船渡湾で25%以上
- 被害無割合は、久慈と宮古で10%を越えたが、他は低くほとんど0%の地域も存在
- 破壊率は、久慈・宮古・野田を除きいずれも80%以上

浸水区域内建物数は国土交通省調査のデータ、全壊は「全壊（流出），全壊（撤去），全壊（条件付再生可）」、半壊は「大規模半壊，半壊（床上浸水）」、被害無は「一部破損（床下浸水），被害無」、破壊区分不明はカウントに含めず

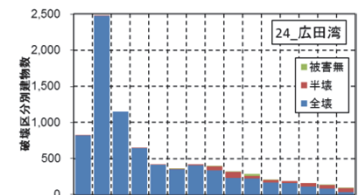
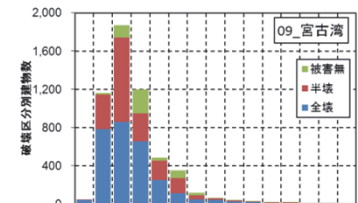
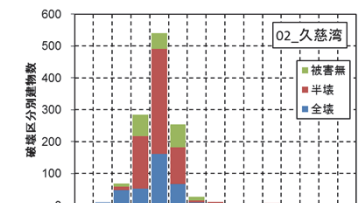
地域特性～久慈湾・宮古湾・広田湾の比較～

地域	低平地 km ²	浸水域 km ²	低平地 地形勾配 °	観測値 浸水高 m	観測値 遡上高 m	浸水域内 建物数	主要建物の 標高：m (占有割合)	全壊 %	半壊 %	被害無 %	破壊率 %
久慈湾	8.033	3.046	3.16	6.06- 14.04	4.13- 32.52	1207	4-5 (45%)	29.7	53.1	17.1	56.3
宮古湾	10.567	5.537	3.69	0.07- 12.37	2.35- 23.61	5427	2-3 (30%)	52.6	37.1	10.3	71.2
広田湾	7.704	8.736	3.87	8.12- 18.34	6.57- 21.88	8246	1-2 (30%)	93.0	6.1	0.9	96.1

- 低平地面積・平均勾配は大きな違いは無い
- 久慈湾・宮古湾では低平地>>津波浸水域、広田湾では津波浸水域>低平地
→広田湾では多くの建物がある低平地全体が浸水しており、浸水深も深い可能性
- 津波浸水位は、広田湾>久慈湾>宮古湾
→広田湾では津波浸水高(来襲した津波波高)が高い
- 建物数が多い標高帯は久慈で4-5m、宮古湾で2-3m、広田湾で1-2m
→広田湾では低平地のなかでも標高の低い場所に多くの建物がある



これら理由から、広田湾での津波被害が他地域より大きかったものと推察される。なお、津波高さと同様に建物が立地している標高との差(津波浸水深)が被害の程度に大きく関わると考えられる



- 岩手県が設定した24海域を対象に、地理特性・来襲津波特性・被害建物特性を整理し、久慈・宮古・陸前高田での建物被害の違いを考察した
- 浸水面積は久慈・宮古・山田・大槌・大船渡・広田でいずれも3km²を上回り、宮古湾や久慈湾では低平地面積>>津波浸水面積、広田湾・田老海岸・船越湾では津波浸水面積>低平地面積
- 津波痕跡調査から、津波遡上高は湾地形(宮古・山田・大槌・釜石)で低下しており、県中央域(田野畑海岸～重茂海岸)付近で最も高かった
- 標高別で建物の被害程度(全壊・半壊・被害無)を整理すると、標高が低い程全壊割合が高い
- 羽鳥の破壊式を用いて建物被害を算出したところ、多くの地域で80%を越え、個別には久慈湾で56.3%、宮古湾で71.2%、広田湾で96.1%と大きく違いが現れた
- 久慈湾・宮古湾・広田湾での地域特性を比較したところ、低平地面積や地形勾配に大きな違いは無いものの、広田湾では低平地全体が浸水し浸水深も高い可能性がある事に加え、津波浸水位が相対的に高く、低平地でも低い場所(標高1-2m)に多くの建物がある地理的背景から、被害の大きさとして広田湾>宮古湾>久慈湾が現れたと推察された

今回は「地域」という単位で傾向を把握するため、局所的な特徴である海岸保全施設の有無や設定高さ、破壊/非破壊の違い、建物の構造種、建物の配置/密集程度は考慮に加えなかった。上記に加え、来襲津波の波高や波向き、浸水分布といった観測から取得が不可能な項目は津波被害をより定量的に評価するためにも今後重要な検討課題であると考えられる。

- 國松孝男・村岡弘浩爾(1989):河川汚濁のモデル解析, 技報道出版, pp.239. ←閉鎖度指数
- 国際エメックスセンター(2001):日本の閉鎖性海域(88海域)環境ガイドブック←閉鎖度指数
- Mori, N., T. Takahashi, and The 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Joint Survey Group (2012), Nationwide Post Event Survey and Analysis of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami, Coastal Engineering Journal, JSCE 54(1), Special Issue of 2011 Tohoku Tsunami.←津波痕跡調査
- Tokutaro Hatori (1964), A Study of the Damage to Houses due to a Tsunami, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol.42, pp.181-191.←破壊率の算定