

アセアン地域における産業集積地の
自然災害リスク評価と事業継続計画
に関する情報収集・確認調査

リスクプロファイルレポート

－ハイフォン（ベトナム）－

平成27年2月
(2015年)

AHAセンター
独立行政法人国際協力機構
OYOインターナショナル株式会社
株式会社三菱総合研究所
株式会社建設技研インターナショナル

パイロット地区の概要

国名	ベトナム						
パイロット地域	ハイフォン市にある産業集積地とその周辺部						
パイロット地域の位置	<p>パイロット地域はハイフォン市にあり、産業集積地はハイフォン市域に広がっている（工業団地の分布する大まかな範囲を赤破線で表示）。</p> 						
パイロット地域の地方行政機関	ベトナムの地方行政区画は3段階に分かれ、第1級行政区(省)、第2級行政区(県)、第3級行政区(町村)からなる。ハイフォン市は中央直轄市であり、省には属さずにベトナム政府の管轄を直接受ける。						
パイロット地域の面積・人口	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr style="background-color: #0070C0; color: white;"> <th>地方行政機関</th> <th>面積 (km²)</th> <th>人口*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #D9E1F2;"> <td>ハイフォン市</td> <td style="text-align: center;">1,523,4</td> <td style="text-align: center;">1,878,500</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; font-size: small;">* 2011, General Statistic Office of Viet Nam</p>	地方行政機関	面積 (km ²)	人口*	ハイフォン市	1,523,4	1,878,500
地方行政機関	面積 (km ²)	人口*					
ハイフォン市	1,523,4	1,878,500					
パイロット地域の自然条件	熱帯モンスーン気候に属し、四季がある。ハイフォンの月平均雨量は 299 mm で、6月から9月に雨が多く、8月にピークを観測する傾向にある。						
パイロット地域のハザード（災害） 洪水	ハイフォンは紅川デルタ北東端に位置している。紅川の洪水の影響を受けるが、ハイフォン市街は洪水の浸水被害のリスクの可能性は少ない。浸水被害は主に熱帯低気圧・台風に伴う高潮による氾濫と地域的な集中豪雨等による内水による浸水リスクが予想され、ハイフォン市街地域は全体に低平なので浸水域の検討が必要になる。						
パイロット地域のハザード（災害） 地震	<p>災害データベースによると、ハイフォン周辺で地震による死傷者が発生した記録はない。周辺に活断層の存在が推定されているが、過去に活動した記録は無く、活動度は不明である。</p> <p>IGP-VAST は、周辺の推定活断層、北西部中国、ラオス国境付近の過去の地震</p>						

	<p>活動をもとに、統計的地震活動解析を行い、ハイフォン付近での 500 年期待加速度を 40～50gal 程度と見積もっている。これは岩盤上での値であるが、地質鉱山局作成の地質図によるとハイフォン付近の地盤は第四紀の堆積物でおおわれているため、地震動の増幅がある。これを考慮すると、地表での加速度は 50～80gal（気象庁震度階で 4 程度）と推定される。</p>
パイロット地域のハザード（災害） 津波	<p>同じく災害データベースに津波災害の記録はない。可能性としては、フィリピンの西のフィリピン海溝で発生した津波が伝播してきて、ベトナムに達することも考えられる。</p>
パイロット地域のハザード（災害） 火山	<p>周辺に活火山は無く、災害データベースに被害の記録はない。</p>
パイロット地域の産業集積地	<p>ハイフォン市には 6 つの工業団地があり、合計 76 社の日系企業が入居している。この内日系企業が多いのは Nomura Hai Phong Industrial Zone で、61 社のテナントのうち 54 社が日系企業である。</p> <p>パイロット地域の代表的工業団地として Nomura Hai Phong Industrial Zone を選定する。その概要は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ ベトナム北部で初めて開発された日系の工業団地で 1997 年に建設された。日系企業は 54 社入居している。 ✓ ハノイまでは 5 号線の陸送が主たる輸送手段で、片側 2 車線だが渋滞が多いのが難点。5 号線が使用できない場合は 18 号線の利用が想定できるが現実的ではない。 ✓ ハイフォンの自然災害リスクは集中豪雨による浸水であるが、工業団地内は立地が良いので問題はほとんどない。 ✓ 従業員のすむ市街地の道路が冠水すると、通勤に支障があり事業活動に影響するが、1 日あれば解決する。 ✓ 入居企業は物流、製造業、損保と多岐にわたる。
パイロット地域の経済の概況	<p>ベトナムでは、キャノン、ブラザー、ホンダ、ヤマハ、といった大手企業が、日系サプライヤーを引き連れる形で生産拠点を形成している。日本国内から必要な部材をベトナムへ輸入し、それをサプライヤーが加工し、大手企業へ納品し、組立加工で最終製品に仕上げるのが一般的な製造業における物品の流れである。現在、大手企業の多くは、調達コストの低減、リードタイムの短縮等を目的に、現地調達率を引き上げようとしている。この結果、現地サプライヤー（日系企業）の生産量の増加にもつながっている。</p> <p>ベトナムの製造業の活動カテゴリに「輸出加工」があり、これは、輸入した部材を 9 か月以内に加工して輸出すれば、その部材の輸入関税の免税を受けられる優遇制度がある（当然ながら、この優遇制度を受ける場合には、完成品の国内出荷ができないようになっている）。この制度は、輸出加工区 (EPZ: Export Processing Zone) と呼ばれ、一般に、雇用増大、技術移転等を目的として、外資企業にインセンティブを与えるために導入されている。</p> <p>野村ハイフォン工業団地は、パイオニア、矢崎総業、トヨタ紡織等が拠点企業となっているが、いずれも「輸出加工」を中心とした生産活動を行っている。したがって、日本等から調達した部材を工業団地内で加工し、そのまま最終製品を（米国等の先進国等へ）輸出している場合が多い。これに対して、国内出荷の多い工業団地としては、タンロン工業団地（開発事業主：住友商事）等がある。</p>
ベトナムにおける BCP の普及の現状	<p>ベトナムにおいて BCP は一般的に周知されていないコンセプトであり、多くの企業や経営者にはまだ認識されていない。行政機関、民間の企業支援機関においても実際の BCP の内実については理解できていない状況であり、BCP と防災</p>

計画を明確に区別していない様子もみられる。

ベトナム北部地域では特に自然災害の被災経験も少なく、個々の企業においては災害リスクへの意識があまり高くない。ハイフォンなどの工業地域に対しては特にその考えが強い。ただし、近年の気象変動による高潮などについては比較的に関心が高い。

石油など危険物を取り扱う企業やライフラインに関わる機関などについては、危機管理に関する緊急対応計画などが一部整備されている。BCP が計画として明示的に策定された事例は確認できない。

目次

パイロット地区の概要

	ページ
第 1 章 パイロット地区の災害リスク	1-1
1.1 概要	1-1
1.2 ハザードの影響評価	1-1
1.3 台風に伴う高潮と洪水による災害リスク	1-7
1.4 ハザード・リスクの情報源.....	1-8
第 2 章 パイロット地区の自然災害.....	2-1
2.1 洪水.....	2-1
2.2 台風/気象災害	2-2
2.3 高潮	2-2
2.4 地震.....	2-2
2.5 津波.....	2-3
2.6 火山.....	2-3
第 3 章 自然災害アセスメントの概要.....	3-1
3.1 地震災害のアセスメント	3-1
3.2 津波災害のアセスメント	3-4
3.3 洪水災害のアセスメント	3-8
3.4 高潮災害のアセスメント	3-11
第 4 章 パイロット地区のプロファイル.....	4-1
4.1 対象地域の概要.....	4-1
4.2 地方自治体の概要	4-2
4.3 産業集積地の状況	4-7
4.3.1 産業集積地における工業団地.....	4-7
4.3.2 Nomura Hai Phong Industrial Zone の入居企業.....	4-9
4.4 運輸インフラの状況	4-10
4.4.1 道路.....	4-10
4.4.2 港湾.....	4-11
4.4.3 鉄道.....	4-14
4.4.4 空港.....	4-15
4.4.5 バス.....	4-17
4.4.6 水上交通	4-17
4.5 ライフラインと公共サービスの状況.....	4-18
4.5.1 電気.....	4-18
4.5.2 水道.....	4-19

4.5.3	通信・情報.....	4-22
4.5.4	ガス.....	4-23
4.5.5	廃棄物.....	4-23
4.5.6	学校.....	4-24
4.5.7	病院.....	4-25
4.6	周辺地域及び日本との経済的つながり	4-25
4.6.1	対象地域の経済の概況.....	4-25
4.6.2	主要な経済政策	4-26
4.6.3	日本との経済的なつながり	4-26
4.7	BCPの取り組みの現状.....	4-29
4.7.1	主な自然災害と防災意識.....	4-29
4.7.2	企業におけるBCP等の取り組み.....	4-30
4.7.3	BCPの普及に関する取り組み	4-31
4.7.4	BCPの普及に関する課題.....	4-31
4.8	災害対策の現状.....	4-32
4.8.1	アンケート調査	4-32
4.8.2	工業団地のアンケート調査結果.....	4-33
4.8.3	企業のアンケート調査結果	4-35
4.8.4	ライフラインの事業者のアンケート調査結果.....	4-37
4.8.5	交通インフラ事業者のアンケート調査結果.....	4-38
4.8.6	地方自治体のアンケート調査結果	4-40
Appendix	自然災害アセスメントの詳細.....	A-1
A.1	地震災害のアセスメント	A-1
A.1.1	確率論的地震動計算の手法	A-1
A.1.2	表層地盤の増幅特性評価.....	A-4
A.1.3	結果の表現.....	A-5
A.1.4	解析と結果.....	A-6
A.1.5	解析結果の評価	A-14
A.2	津波災害のアセスメント	A-16
A.2.1	津波の理論とシミュレーションモデル.....	A-17
A.2.2	入力データ	A-18
A.2.3	出力項目	A-22
A.2.4	想定地震の再現期間	A-22
A.2.5	解析結果	A-24
A.2.6	解析結果の評価	A-40
A.3	洪水災害のアセスメント	A-42
A.3.1	検討方針	A-42
A.3.2	想定外力規模の設定	A-42

A.3.3	降雨解析	A-42
A.3.4	氾濫解析	A-46
A.3.5	解析結果の評価	A-51
A.4	高潮災害のアセスメント	A-52
A.4.1	概要.....	A-52
A.4.2	想定する外力の設定	A-52
A.4.3	高潮モデルについて	A-52
A.4.4	台風規模の設定	A-53
A.4.5	高潮モデルの構築と妥当性の検討	A-55
A.4.6	想定台風による高潮潮位の計算.....	A-57
A.4.7	湛水図作成.....	A-60
A.4.8	解析結果の評価	A-62

第1章 パイロット地区の災害リスク

1.1 概要

パイロット地区の災害リスクは、地震動分布図や浸水分布図などの自然災害評価結果（Appendix 参照）に、4章で述べる施設分布を重ね合わせて評価した。評価対象とした施設は、ビジネスの継続にとって重要な交通インフラやライフラインを主とした。

津波、洪水、高潮の場合、浸水する地域内に分布し、水に浸かると考えられる施設は、基本的に被害を受けると考えた。被害の程度は、各施設の種別、構造、立地状況などによって異なるため、パイロット地域で経験した災害履歴が最も重要な資料となる。しかし、当パイロット地域においては過去の災害事例を収集できなかったため、他地域における災害事例を参考に評価した。

地震の場合は、被害の程度は、施設の位置する場所での地震動の強さと、各施設の耐震性能によって決まる。代表的な施設の地震動の強さと被害程度の関係は、過去の被害事例から被害関数として提案されている。代表的なものとしては、米国の被害事例から定められた、ATC-13¹、ATC-25²、Hazu³などがある。本調査では、これらの既存の被害関数から、被害程度や復旧にかかる期間を評価した。したがって、本調査における評価結果は、パイロット地域の施設の状況に照らして改善される余地があることに留意すべきである。

1.2 ハザードの影響評価

事業継続に与える影響の大きさを評価し、図 1.2.1 に示した。ハイフォン地区においては、事業継続に与える影響が最も大きいのは台風に伴う高潮と洪水であると評価された。これは図 1.2.2～図 1.2.6 に示した、ハザード評価結果と重要施設分布を重ね合わせた図面から評価したものである。

200年に1回の発生確率を想定した場合のパイロット地区のハザードは以下のようになる。

- 地震：MMI 震度で5～6（JMA 震度で3～4）
- 津波：1,000年に1回以下の発生確率を想定した津波で、津波波高は1～2m
- 洪水：浸水深さは1m以下で、浸水の継続期間は数日
- 高潮：浸水深さは最大5m

¹ ATC, 1985, ATC-13: Earthquake Damage Evaluation Data for California, Federal Emergency Management Agency, Applied Technology Council, California, U.S.A.

² ATC, 1991, ATC-25: Seismic Vulnerability and Impact of Disruption on Lifelines in the Conterminous United States, Federal Emergency Management Agency, Applied Technology Council, California, U.S.A.

³ FEMA, 2011, Hazus -MH 2.1, Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model.

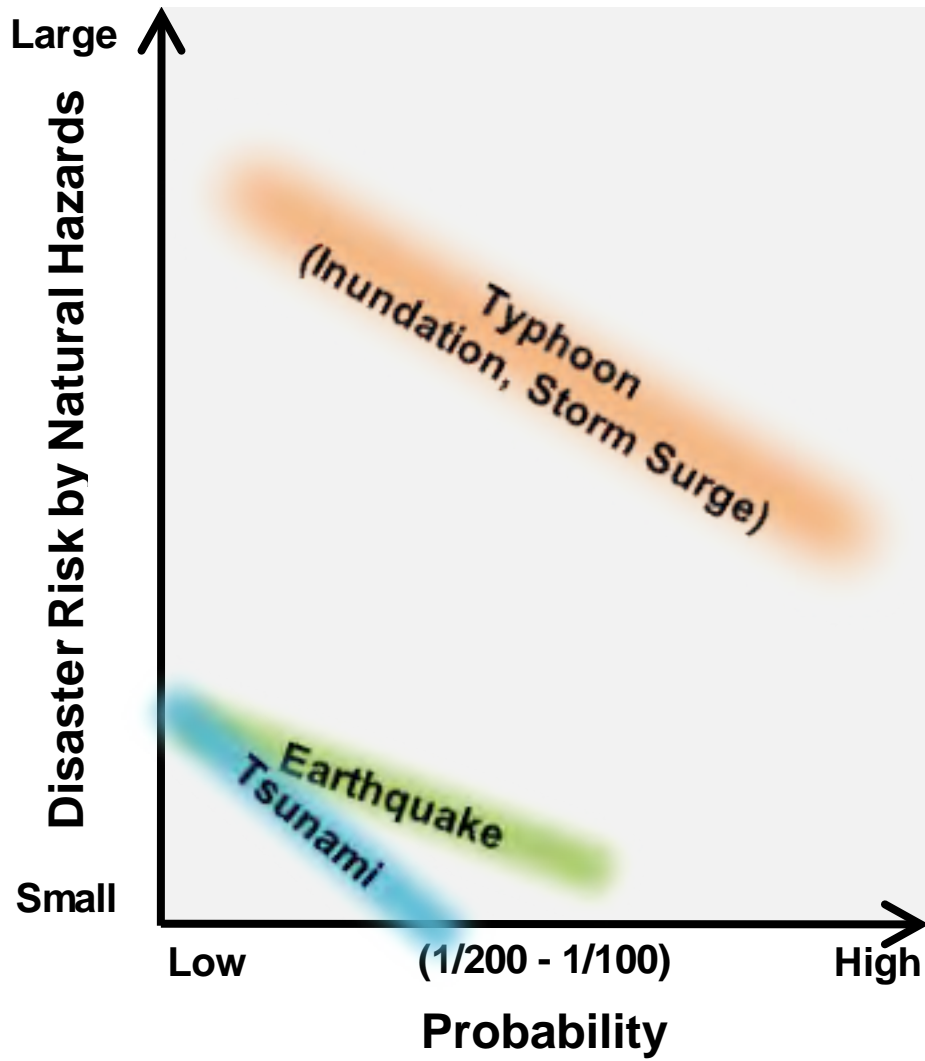


図 1.2.1 ハザードの影響評価

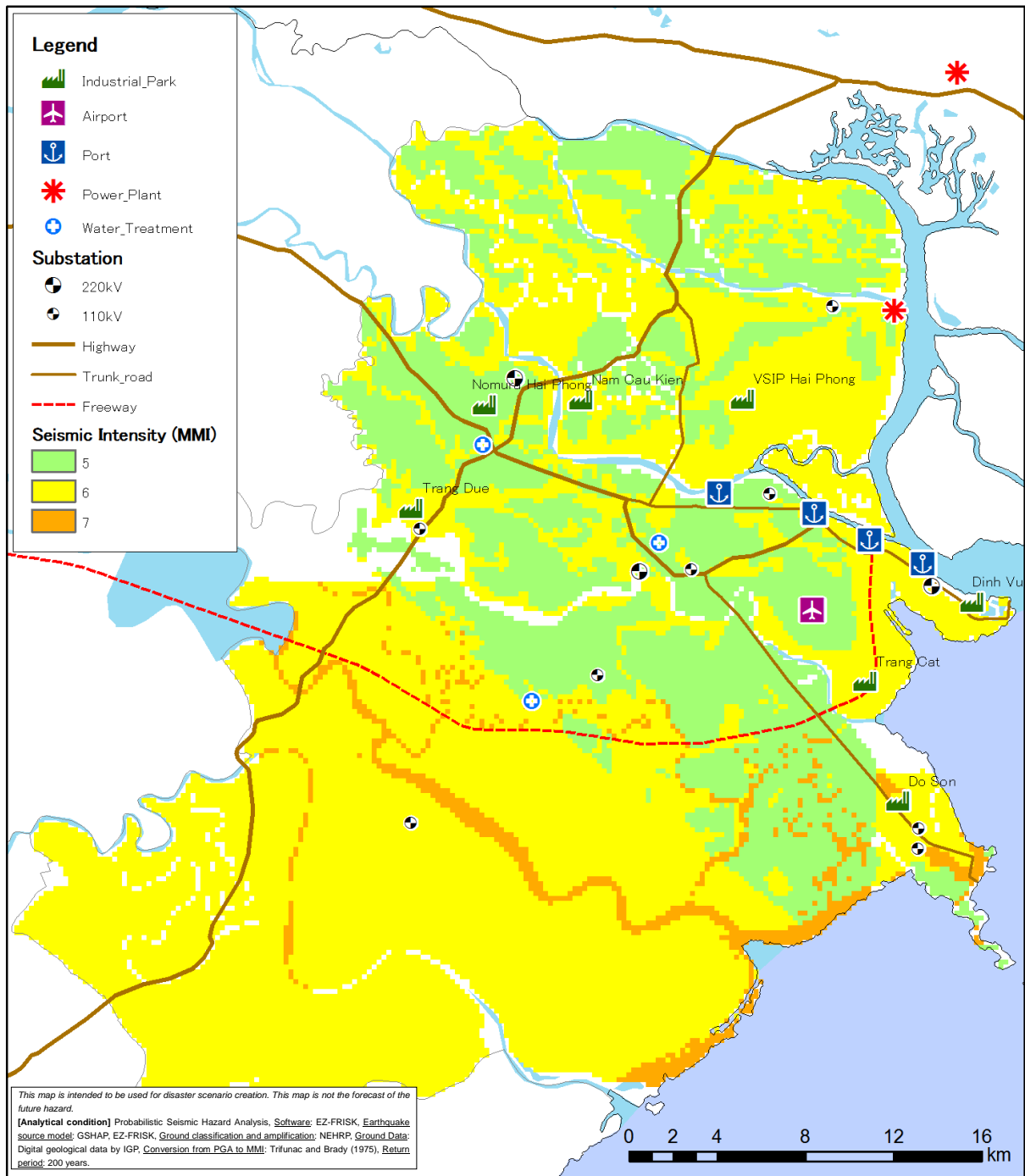


図 1.2.2 200年に1回の発生確率を想定した地震の震度と重要施設の分布

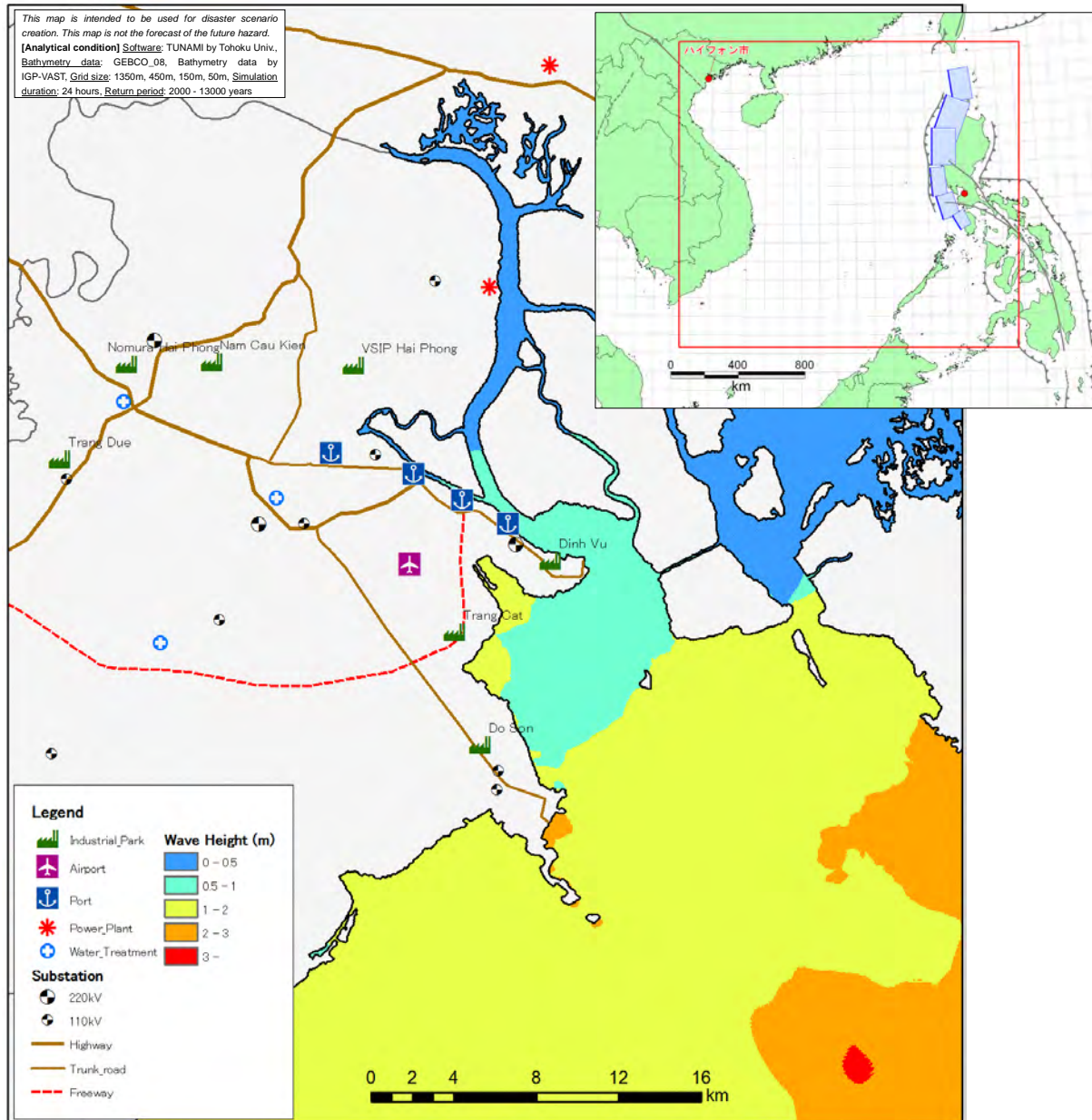


図 1.2.3 最も影響が大きいモデル(発生確率は 1,000 年に 1 回以下)による津波の最大波高分布

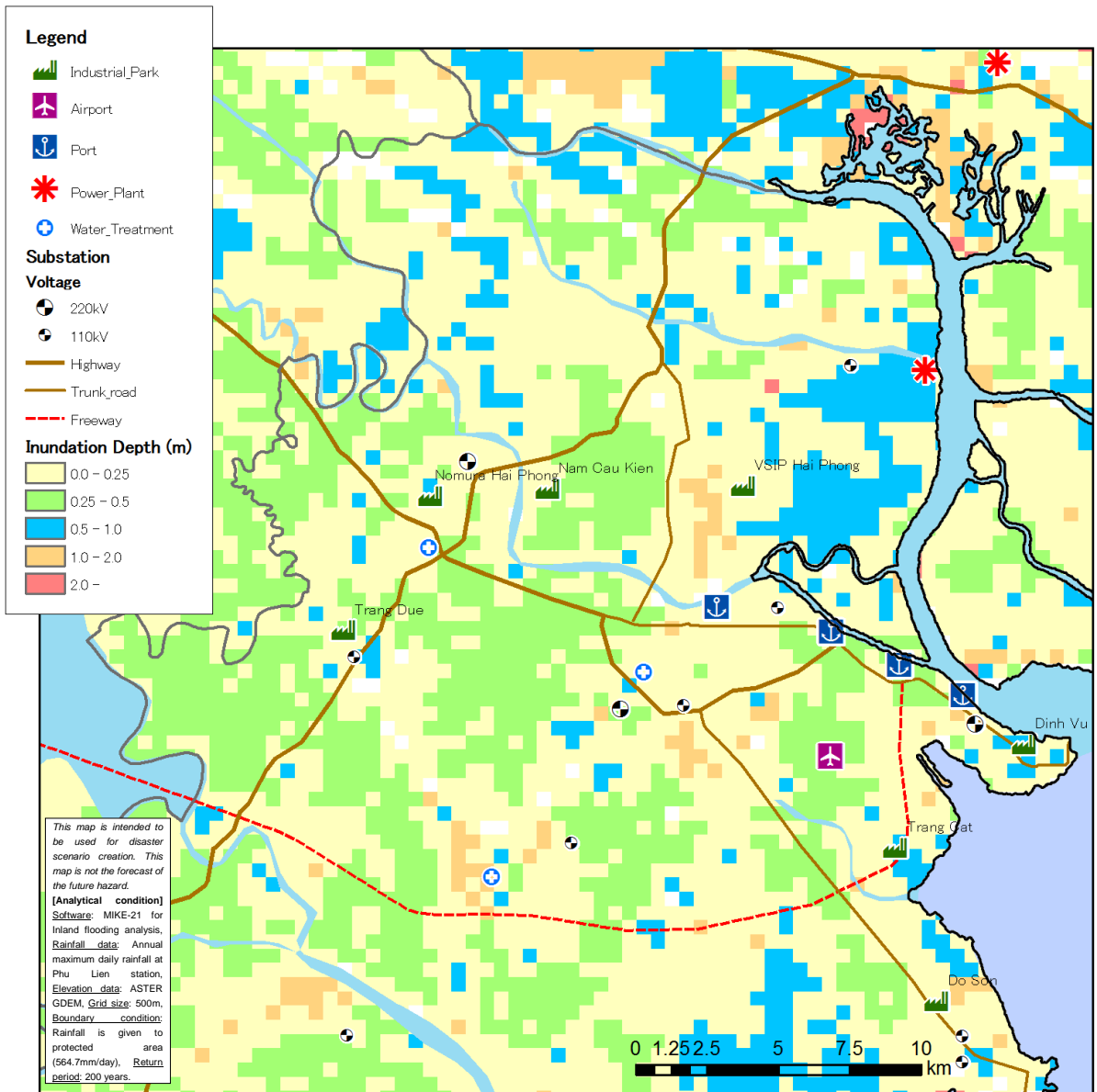


図 1.2.4 200年に1回の発生確率を想定した洪水による浸水深さと重要施設の分布

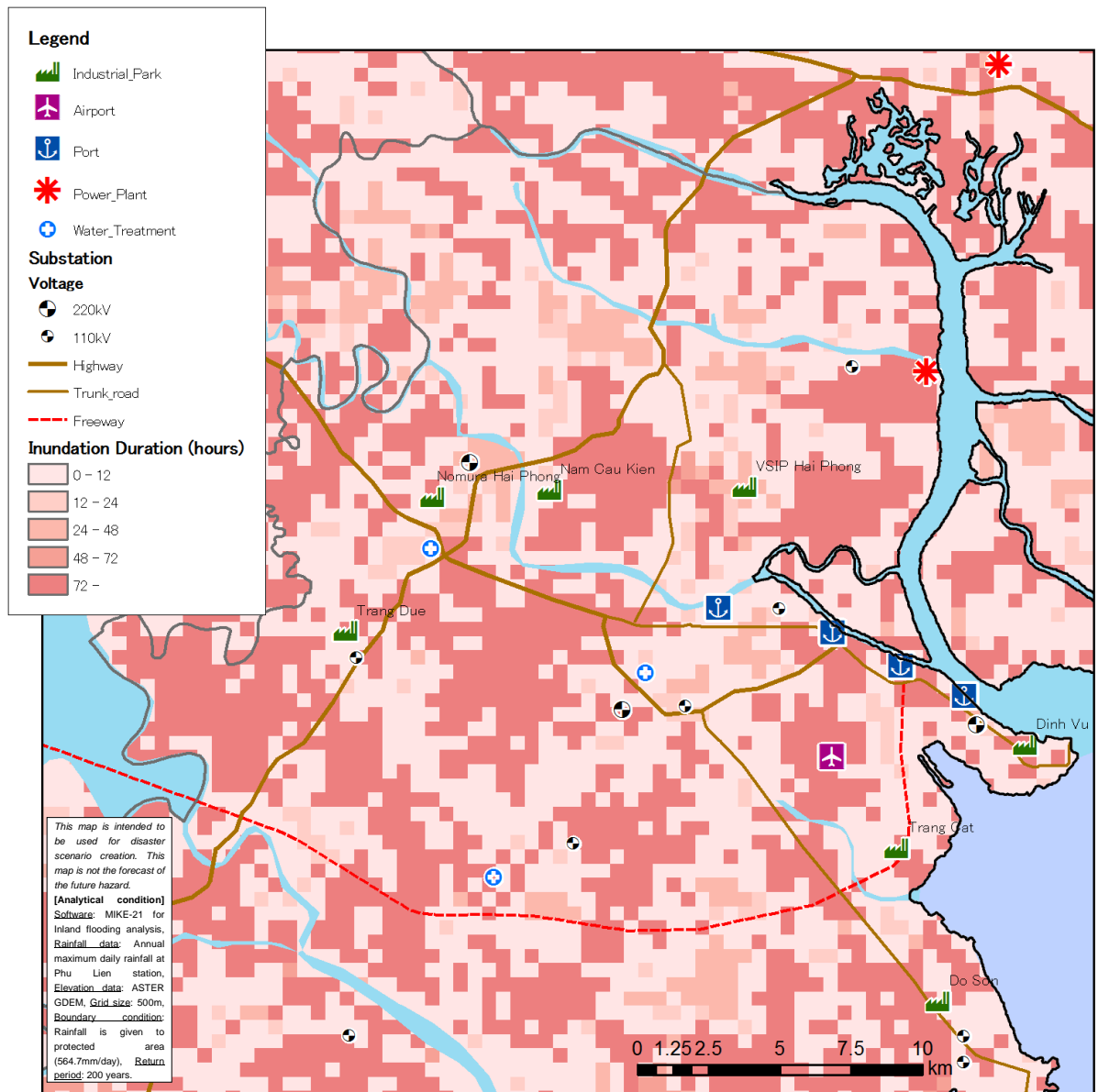


図 1.2.5 200年に1回の発生確率を想定した洪水による浸水期間と重要施設の分布

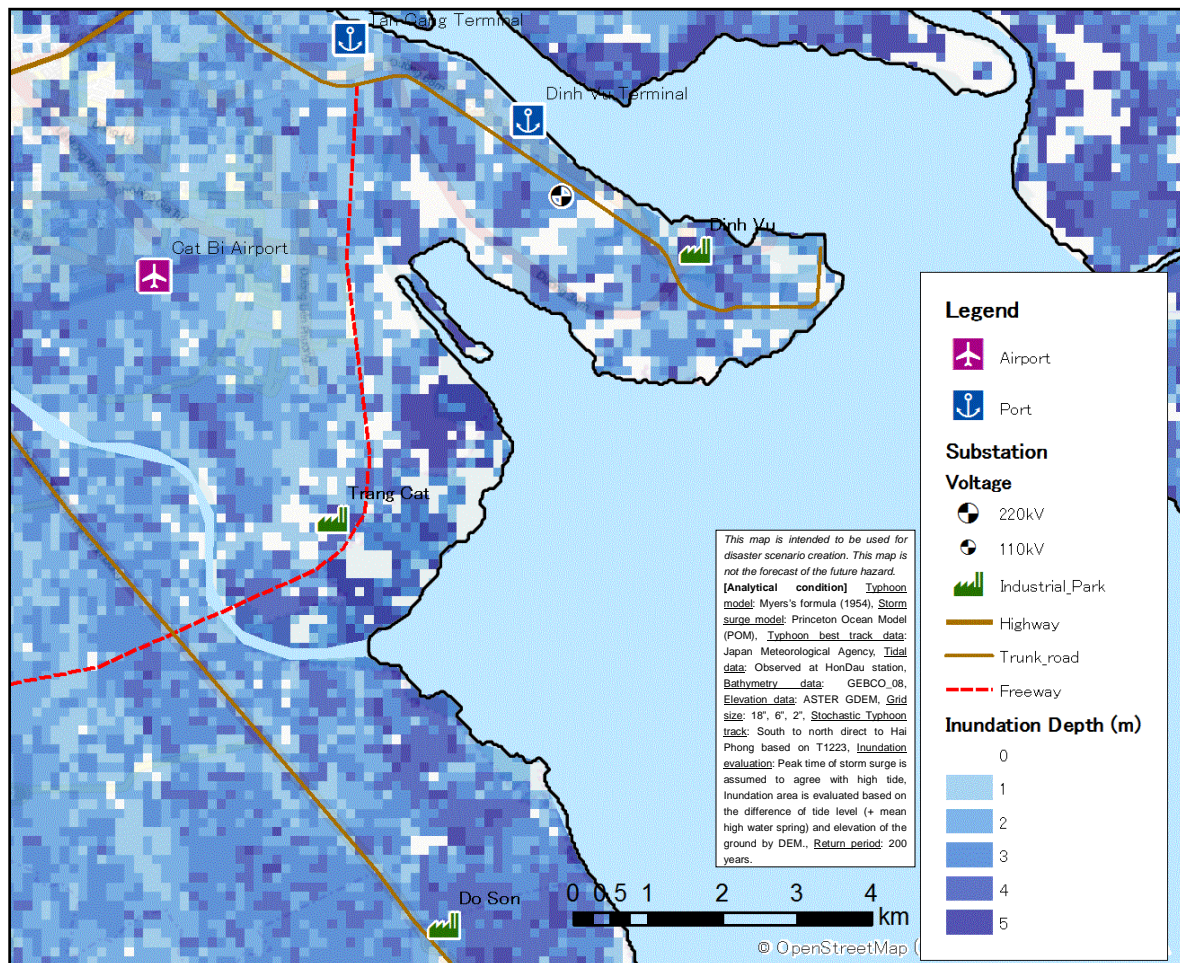


図 1.2.6 200年に1回の発生確率を想定した台風による高潮の浸水深さ

1.3 台風に伴う高潮と洪水による災害リスク

事業継続に最も影響が大きい災害である、台風に伴う高潮と洪水について、200年に1回の発生確率を想定した場合の災害リスクを表 1.3.1 に示した。

表 1.3.1 台風に伴う高潮と洪水による災害リスク

工業団地内の建物	<ul style="list-style-type: none"> ● 海岸に近い工業団地は高潮による浸水被害を受ける
ライフライン	<ul style="list-style-type: none"> ● ハイフォン火力発電所が 0.5~1m 浸水するため、ハイフォンへの電力供給が減少する ● Dinh Vu 変電所(220kV)が高潮で大被害を受ける ● 海岸線に近い変電所(110kV)が大被害を受ける ● ハイフォンへの電力供給が減少する ● 固定電話、携帯電話が電力不足で使用制限される
交通インフラ	<ul style="list-style-type: none"> ● 国道 5 号線が数日通行止めになる ● 市内の道路が数日、部分的に通行止めになる

	<ul style="list-style-type: none">● Dinh Vu 港が高潮で被害をうけ、荷役設備が海水で損傷する● コンテナターミナルが機能停止する● 近隣港湾は Dinh Vu 港からの振り替え需要で混雑し、荷役時間が増大する
従業員	<ul style="list-style-type: none">● 住宅が浸水被害を受けるたために出勤しない従業員が発生する● 道路混雑のため、遅刻する従業員が多数発生する

1.4 ハザード・リスクの情報源

■ 地震、津波、火山

[VAST] Vietnam Academy of Science and Technology 「ベトナム科学技術アカデミー」

<http://www.vast.ac.vn/>

[IGP-VAST] Institute of Geophysics, Vietnam Academy of Science and Technology 「地球物理研究所」

<http://www.igp-vast.vn/>

■ 気象、洪水

[MARD] Ministry of Agriculture and Rural Development 「農業農村開発省」

<http://www.agroviet.gov.vn/en/Pages/default.aspx>

[CCFSC] Central Committee for Flood and Storm Control 「暴風・洪水管理中央委員会」

<http://www.ccfsc.gov.vn/KW367A21/Trang-chu.aspx>

[NCHMF] National Center for Hydro-meteorological Forecasting 「国家水文気象予報センター」

<http://www.nchmf.gov.vn/web/en-US/43/Default.aspx>

[VAST] Vietnam Academy of Science and Technology 「ベトナム科学技術アカデミー」

<http://www.vast.ac.vn/>

[HUST] Hanoi University of Science and Technology 「ハノイ工科大学」

<http://en.hust.edu.vn/home;jsessionid=3B761135553EC65597E3EA1F1D2C6F2C>

[HCMUT] Ho Chi Minh City - University of Technology 「ベトナム国家大学ホーチミン工科大学」

<http://www.hcmut.edu.vn/en>

第2章 パイロット地区の自然災害

2.1 洪水

- ✓ ハイフォン市は Red River and Thai Binh River デルタの北東端の沿岸部に位置し、地形は全体に低平(標高：3~5 m)である。ハイフォン地域は年平均 3-5 回の熱帯低気圧・台風の影響を受け、台風に伴う豪雨等による、河川氾濫被害のリスクは少ないが、内水による浸水リスクと熱帯低気圧・台風に伴う高潮による氾濫リスクが高い。ハイフォン市は常習的な浸水地域が認められ、小規模の降雨でも浸水が発生しており、浸水の頻度は高い。日雨量の最大は 490 mm (22/09/1927), 3 日雨量最大は 800 mm (6-8/08/1995) である。工業団地は直接的な浸水リスクは低い、市内の道路等は浸水被害に対して脆弱であり、物流や従業員に浸水被害リスクは高く、間接的な被害は免れない。
- ✓ 防災対策の責任機関は農業・農村開発省 (MARD) である。MARD 及び堤防管理洪水対策部 (DDMFC) は Red River 流域の M/P を策定している。現在の M/P は 2007 年に策定されており、見直しが進められている。2012 年 3 月に新 M/P の方針とガイドラインは流域内の各州に配布され、検討が進められている。新 M/P は、安全レベルを示す洪水の確率規模は、2007~2010 年は 250 年確率、2010~2015 年は 500 年確率に設定されている。流域の計画流量は、ハノイ上流の Son Tay を基準にしている。Son Tay に於ける 250 年確率洪水、500 年確率洪水の計画流量は、それぞれ 42,600 m³/s 及び 48,500 m³/s である。
- ✓ Hai Phong の洪水対策計画の責任機関は州人民委員会、河川堤防及び高潮堤の建設は DDMFC。河川の堤防システムの安全レベルは現状維持の方針としている。
- ✓ Red River の洪水対策は、上流地域のダム貯水池(Hoa Binh, Tuyen Quang, Thac Ba 及び Son La) による制御と、下流デルタ地域の堤防システムによる防御を基本にしている。超過洪水の対応は、洪水放水路、遊水地による制御が計画されている。
- ✓ Red River デルタの堤防システムは 1971 年 8 月の Historical 洪水 (100-year or 125-year) を基準に計画されており、Hanoi の洪水位：13.4 m、Hai Phong の洪水位：4.34 m に設定されている。Hanoi の洪水流下能力は 20,000 m³/s 以上と設定している。
- ✓ ハイフォン市街の内水対策は Hai Phong Sewerage Co.が担当しており、外水対応は防潮ゲート (11 箇所) を設けている。排水システムの改善は市内の自然の湖等を活用も進められており、浸水深は 50 cm 程度に、浸水時間は数日間から数時間に低減されていると報告している。現在、北九州市に下水計画、排水計画策定及び浸水図作成の技術協力を要望しているが、北九州市によると、まだ実施の見通しは出来ていない。ハイフォン市は内水対策改善計画の策定・実施は緊急課題である。

2.2 台風/気象災害

ベトナムは東南アジアモンスーンの影響地域である。ハイフォンは、平均年3～5回の台風又は熱帯低気圧の影響を受け、1955年以降、年間1～2回は台風の直撃を受けている。特に2005年には3個の台風（No.2, No.6, No.7）の直撃を受けた。

2.3 高潮

- ✓ ハイフォンの平均潮位は約3～4m、最大は大潮の4～4.5mである。ハイフォンを襲う台風はその17.8%～50%は1.5m以上、33%は2.0m以上の高潮を発生させている。高潮の継続は12～30時間で最高潮位の継続は2～3時間である。現在、ハイフォンの高潮堤は6タイプあり、堤防高は5.1m～5.8mに設定されている。
- ✓ ハイフォンの高潮対策は、高潮堤防はDDMFCが対応し、市内の防潮ゲート（現在11箇所）等は、Hai Phong Sewerage Co. が、内水対策として実施している。
- ✓ 潮位の観測体制は、観測所は全国で18箇所、そのうちハイフォン地域に5箇所ある。現在、自動観測所は無く、全てマニュアルである。現在の観測システムは、観測密度が低く、観測機器はソ連時代のもので老朽化している。高潮の予報精度の向上を図るには、観測システム全体（観測網、観測機器の改善と人材育成）の改善・向上が必要である。NCHMFは2007年に観測システムの改善計画を策定し、国の承認済みだが、予算が無く未実施である。
- ✓ 高潮解析・予報はNCHMFが実施している。2013年8月8日の熱帯低気圧“JEBI”（No.5）については48時間前に予報を行なっている。NCHMFの予報の伝達先は、1. 天然資源環境省、水文気象予報センター、2. 地方委員会、3. 地方紙、並びに、特に登録されている情報伝達の必要性の高い組織に伝達（有料）する。

2.4 地震

災害データベースによると、ハイフォン周辺で地震による死傷者が発生した記録はない。周辺に活断層の存在が推定されているが、過去に活動した記録は無く、活動度は不明である。

IGP-VASTは、周辺の推定活断層、北西部中国、ラオス国境付近の過去の地震活動をもとに、統計的地震活動解析を行い、ハイフォン付近での500年期待加速度を40～50gal程度と見積もっている。これは岩盤上での値であるが、地質鉱山局作成の地質図によるとハイフォン付近の地盤は第四紀の堆積物でおおわれているため、地震動の増幅がある。これを考慮すると、地表での加速度は50～80gal（気象庁震度階で4程度）と推定される。ABCPで企業が対象とする災害の発生確率は必ずしも一定ではないが、仮に施設の耐用年数程度の50年とすると、上記の値は半分以下になる。

2.5 津波

同じく災害データベースに津波災害の記録はない。可能性としては、フィリピンの西のフィリピン海溝で発生した津波が伝播してきて、ベトナムに達することも考えられる。

IGP-VAST は 2011.3.11 東日本大震災を受け、フィリピン海溝でマグニチュード 9.3 の地震が発生した場合の津波のシミュレーションを行った。その結果、ハイフォン付近では地震の 8 時間後に 3m の津波がやってくる結果となっている。一方、フィリピン海溝ではフィリピンに被害をおよぼした津波地震が発生した記録は無く、地震活動は全般にそれほど高くない。中小地震の発生確率から推定したマグニチュード 9 クラスの地震発生確率は非常に小さいものになる。

2.6 火山

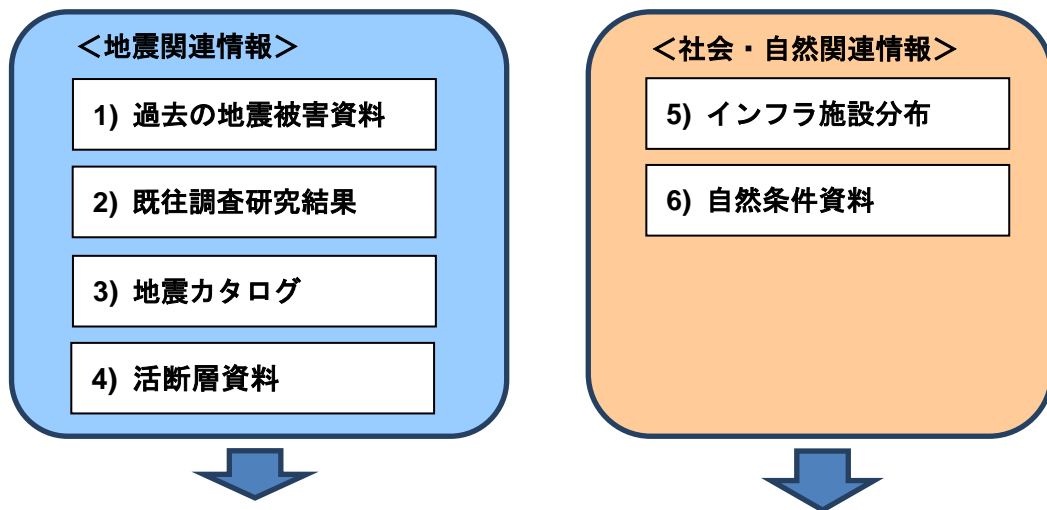
周辺に活火山は無く、災害データベースに被害の記録はない。

第3章 自然災害アセスメントの概要

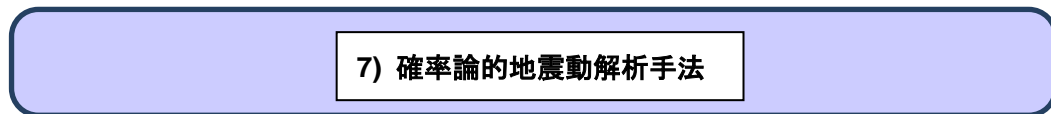
3.1 地震災害のアセスメント

地震によって発生する地震動によるハザード評価の基本的な流れを図 3.1.1 に示した。以下、各項目の内容を述べていく。

【Step 1】 既存情報の収集と分析



【Step 2】 災害確率の設定



【Step 3】 解析と評価

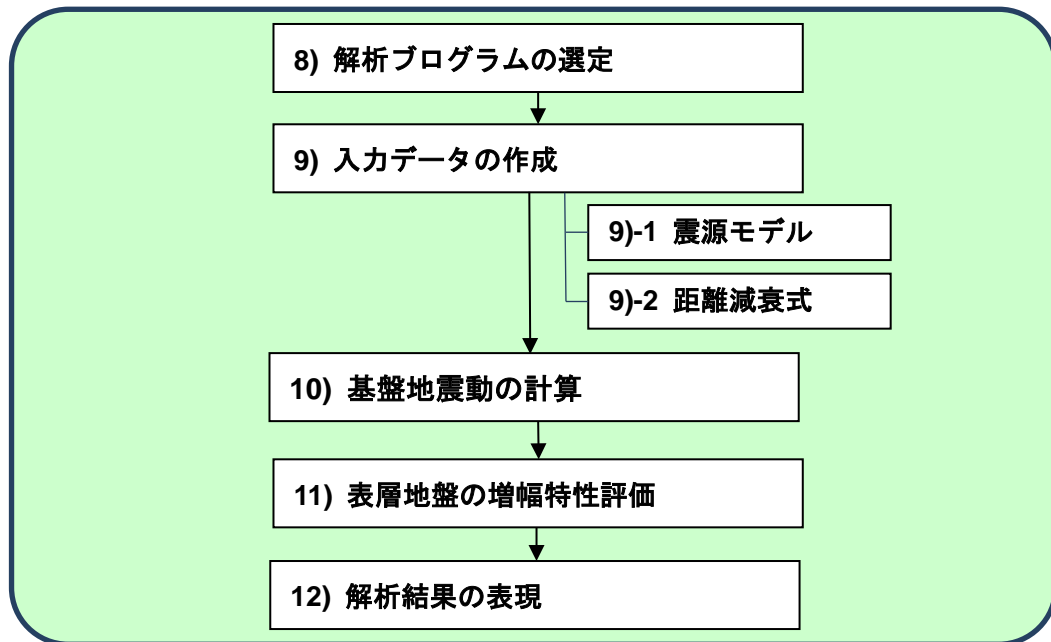


図 3.1.1 地震によるハザード評価の流れ

【Step 1】既存情報の収集と分析

<地震関連情報>

1) 過去の地震被害資料の収集、整理

評価対象地域において、過去に経験した地震の揺れ、地震災害の記録を収集整理する。地震の発生年、地震規模、震度分布、被害分布を整理することで、当該地域の地震被害の頻度、程度などの特徴を把握する。

2) 既往調査研究結果

評価対象地域を含む、地震ハザードに関する既往研究結果を収集する。歴史地震の研究、地震ハザードマップ、地盤による地震増幅特性の研究などを中心として収集する。

3) 地震カタログ

地震カタログとは、過去に発生した地震の位置、発生年月日、時刻、地震規模などを記載したリストである。地震カタログは地震ハザード解析の中心となる資料であり、できるだけ長期間のカタログが望ましい。震源の範囲は、評価対象地域を中心として数 100km をカバーする必要がある。

4) 活断層資料

活断層は、将来地震を発生する可能性がある断層で、地震ハザード評価に必要な資料である。その位置、長さ、活動記録などが必要な情報である。

<社会・自然関連情報>

5) インフラ施設分布

評価対象となる産業集積地が依存しているインフラ施設について、その分布を把握する。対象となるインフラ施設は、主に交通インフラとライフライン施設である。これらの施設の分布状況から、実際に地震ハザード解析を実施する対象地域を設定する。一般にインフラ施設は産業集積地の外に広く広がるため、ハザード解析の範囲も産業集積地に留まらない。

6) 自然状況資料

評価対象地域の基礎資料として、地形図または DEM を収集する。また、表層地盤による地震動の増幅を評価するために、地質図、地盤図、土地利用図などを収集する。

【Step 2】災害確率の設定

7) 確率論的地震動解析手法

広域 BCP のための地震動シミュレーションでは、確率論的方法が用いられる。確率論的方法とは、計算対象地点周辺の想定される震源をすべて考慮し、各震源での地震発生確率を考慮したうえで、対象地点におけるある一定期間の間に期待される地震動を計算する考え方である。これは、

広域 BCP で検討対象とする災害は、施設、設備等の償却期間内において発生する可能性の高い災害であり、災害の確率を評価できることが重要となるためである。

【Step 3】解析と評価

8) 解析プログラムの選定

確率論的な地震動の評価には複雑な計算を伴う。このため、多くの解析ソフトが開発されているが、ほとんどは研究者あるいは専門知識を持った技術者が使うことを想定している。Risk Engineering Inc.が提供している EZ-FRISK は商用ソフトで、後述の震源モデル、距離減衰式と共に提供されているため、比較的容易に解析が可能である。

9) 入力データの作成

9)-1 震源モデル

震源モデルとしては、対象地点の周囲数 100km 内の活断層をモデル化する。加えて、地震カタログなどをもとに、ある広がりを持った地域で発生する地震活動もモデル化する。

9)-2 距離減衰式

地震の規模と対象地点からの距離から地震動の強さを計算するために距離減衰式をもちいる。対象とする地域を対象として作成された式を採用することが望ましい。一般的には新しく提案された距離減衰式のほうがより精度が高い最近地震観測結果に基づいていることが多いため、より望ましい。

10) 基盤地震動の計算

確率論的解析によって得られる地震動は、以下のように表現される。

a) ある地震動の強さを定めた時に、対象地点が経験する確率

例：100gal 以上の地震動を経験する確率は、50 年間で 10% である。

b) ある確率を与えた場合に、対象地点が経験する地震動の強さ

例：50 年間に 10% の確率で、100gal 以上の地震動を経験する。

11) 表層地盤の増幅特性評価

地震の揺れは表層地盤によって増幅される。表層地盤による増幅特性を評価する手法としては、表層の地質によって評価する方法、地表付近の平均 S 波速度を使って評価する方法、地盤の数値モデルを構築して解析的に評価する方法などがある。これらから、入手できる資料の有無、解析に用いる労力と費用などによって選択される。

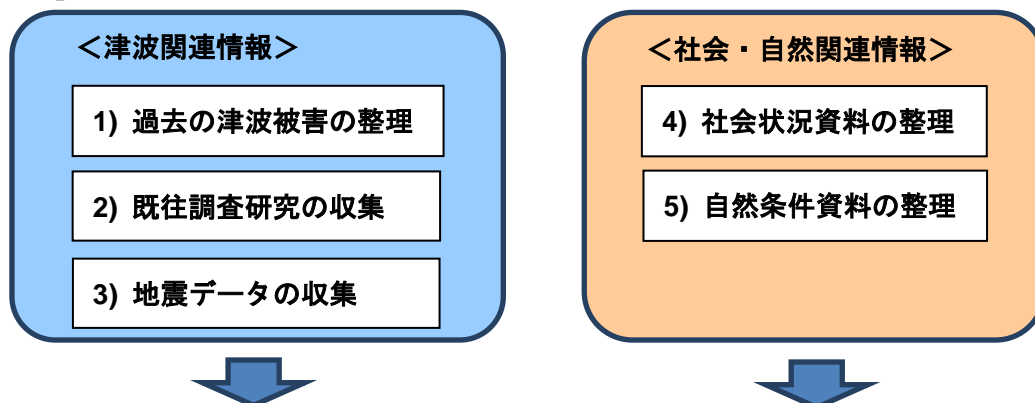
12) 解析結果の表現

解析によって得られる地震動は、最大加速度や最大速度などの数値である。一方、地震動の表現方法としては、震度のほうが一般的に理解されやすい表現である。また、過去の災害事例から被害を推定する際にも、震度が広く用いられている。最大加速度や最大速度と震度の関係は 1 対 1 ではないが、一般には経験式を用いて震度変換される。

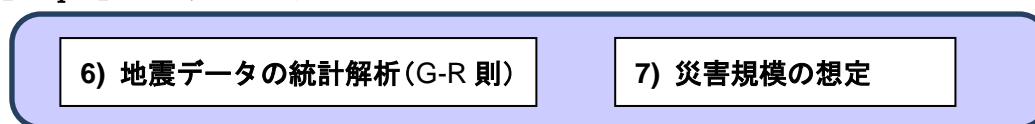
3.2 津波災害のアセスメント

地震によって発生する津波によるハザード評価の基本的な流れを図 3.2.1 に示した。以下、各項目の詳細を述べていく。

【Step 1】既存情報の収集



【Step 2】災害規模の設定



【Step 3】解析と評価

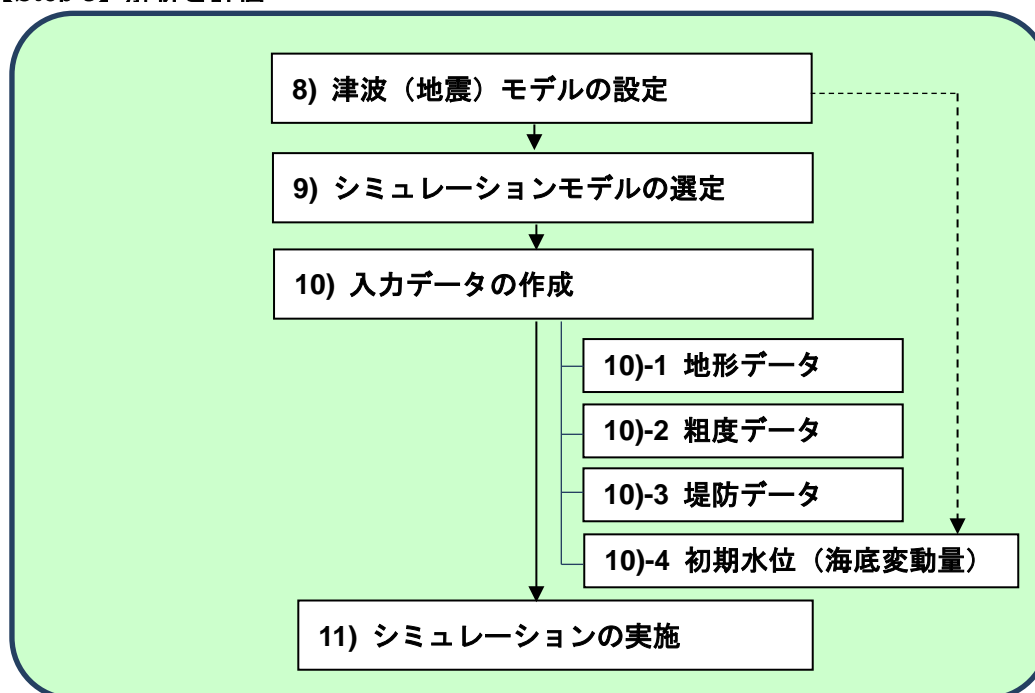


図 3.2.1 津波によるハザード評価の流れ

【Step 1】既存情報の収集と分析

<津波関連情報>

1) 過去の津波被害の整理

評価対象地域において、過去に経験した津波による波高分布、津波災害の記録を収集整理する。津波の発生年、規模、浸水域分布を整理することで、当該地域の津波被害の頻度、程度などの特徴を把握する。

2) 既往調査研究の収集

評価対象地域を含む、津波ハザードに関する既往研究結果を収集する。歴史津波の研究、津波ハザードマップなどを中心として収集する。

3) 地震データの収集

津波の原因である地震のカatalogを調査し整理する。地震カatalogとは、過去に発生した地震の位置、発生年月日、時刻、地震規模などを記載したリストである。このうち、津波を発生させた地震のデータを収集する。

<社会・自然関連情報>

4) 社会状況資料の整理

対象地域で津波の影響を受ける可能性のある産業集積地、社会インフラを整理する。社会インフラは交通インフラとライフラインに大別される。これらの施設の分布状況から、実際に津波ハザード解析を実施する対象地域を設定する。一般にインフラ施設は産業集積地の外に広く広がるため、ハザード解析の範囲も産業集積地に留まらない。

5) 自然条件資料の整理

対象地域の地形的特徴を把握するため、陸上の標高やDEM、海域の水深データを収集する。より詳細な検討を行う場合は、土地利用や地質のデータも有用である。

【Step 2】災害規模の設定

収集したデータをもとに、想定災害規模を設定する。ただし、津波の規模を直接設定するのではなく、原因となる地震の規模を設定してハザードを評価する。

6) 地震データの統計解析（Gutenberg-Richter 則）

想定地震の再現期間については、想定地震付近の地震カatalogを使い、地震規模の大小と発生数の関係（Gutenberg-Richter 則）に基づいて検討する。想定地震のマグニチュードをこの関係に当てはめることで、想定地震の年発生確率や再現期間を知ることができる。

7) 災害規模の想定

広域BCPの検討基準となる想定災害規模を設定する。想定災害規模を大きくすると、広域BCP策定のための検討内容が多くなり計画策定に労力を要するが、事業継続のための安全度は高まる。

一方、想定災害規模が小さい場合、広域BCPの策定範囲は狭まり計画策定が比較的容易になるが、想定災害規模を超える災害が発生した場合は、広域BCPが有効に機能しなくなる恐れがある。従って、対象地域の地域計画、行政方針、計画の実現可能性などについて地域住民を含む関係者と協議し、想定災害規模を決定することが望ましい。

【Step 3】 解析と評価

8) 津波（地震）モデルの設定

想定した地震について、位置、大きさ、すべり量などの断層パラメータを設定する。

9) 津波シミュレーションモデルの選定

津波の数値シミュレーションは、複雑な計算を必要とする。津波の挙動を表す理論には、波長と水深の関係や津波の伝達距離などに応じて種々の理論が提案されており、対応する計算ソフトも数多く作成されている。そのほとんどは研究者あるいは専門知識を持った技術者が使うことを想定している。

10) 入力データの作成

津波シミュレーションのために必要な入力データは一般に以下の項目である。これらのデータは以下で説明する格子ごとに与える必要がある。

10)-1 地形データ

津波のシミュレーションを実施するに当たっては、地震が発生する地域から対象とする地域を含む範囲の地形をモデル化する必要がある。地形モデルには海底地形に加えて遡上する範囲の陸域の地形や堤防などの海岸構造物が含まれる。

地形モデルは対象範囲を正方形の格子で分割し、格子ごとに標高と摩擦抵抗を考慮するための粗度係数が付与される。格子の大きさは地形の複雑さと波長との関係で設定するが、一般に陸地に近づくほど地形の変化が大きくなり、津波にも短波長成分が卓越してくることを考慮して、格子の大きさを順次小さくしていく方法（ネスティング）が採用される。例えば、沖合から陸地にかけて 1350m → 450m → 150m → 50m と格子を順次 1/3 の大きさにして接続する。

10)-2 粗度データ

津波の伝播に伴う海域および陸域の抵抗はマニングの粗度係数 n で定義される。海域の粗度係数としては $n=0.025$ 程度の値を用いることが多い。

10)-3 堤防データ

海岸に堤防などの海岸構造物がある場合には、その高さ情報を格子データに取り込むことができる。

10)-4 初期水位（海底地形変動量）

断層運動にともなう海面変動量をシミュレーションの初期値として与える。海面変動量は、海底地形の変動量を計算し、この鉛直変位と等価な海面変動が発生すると仮定して設定する。

11) シミュレーションの実施

津波シミュレーションの一般的な出力は、格子ごとの以下の項目である。

1. 最大水位(海域) または最大浸水深 (陸域)
2. 最大流速
3. 最大水位の到達時間
4. x cm 高さの津波の到達時間

3.3 洪水災害のアセスメント

洪水によるハザード評価の基本的な流れを図 3.3.1 に示した。以下、各項目の詳細を述べていく。

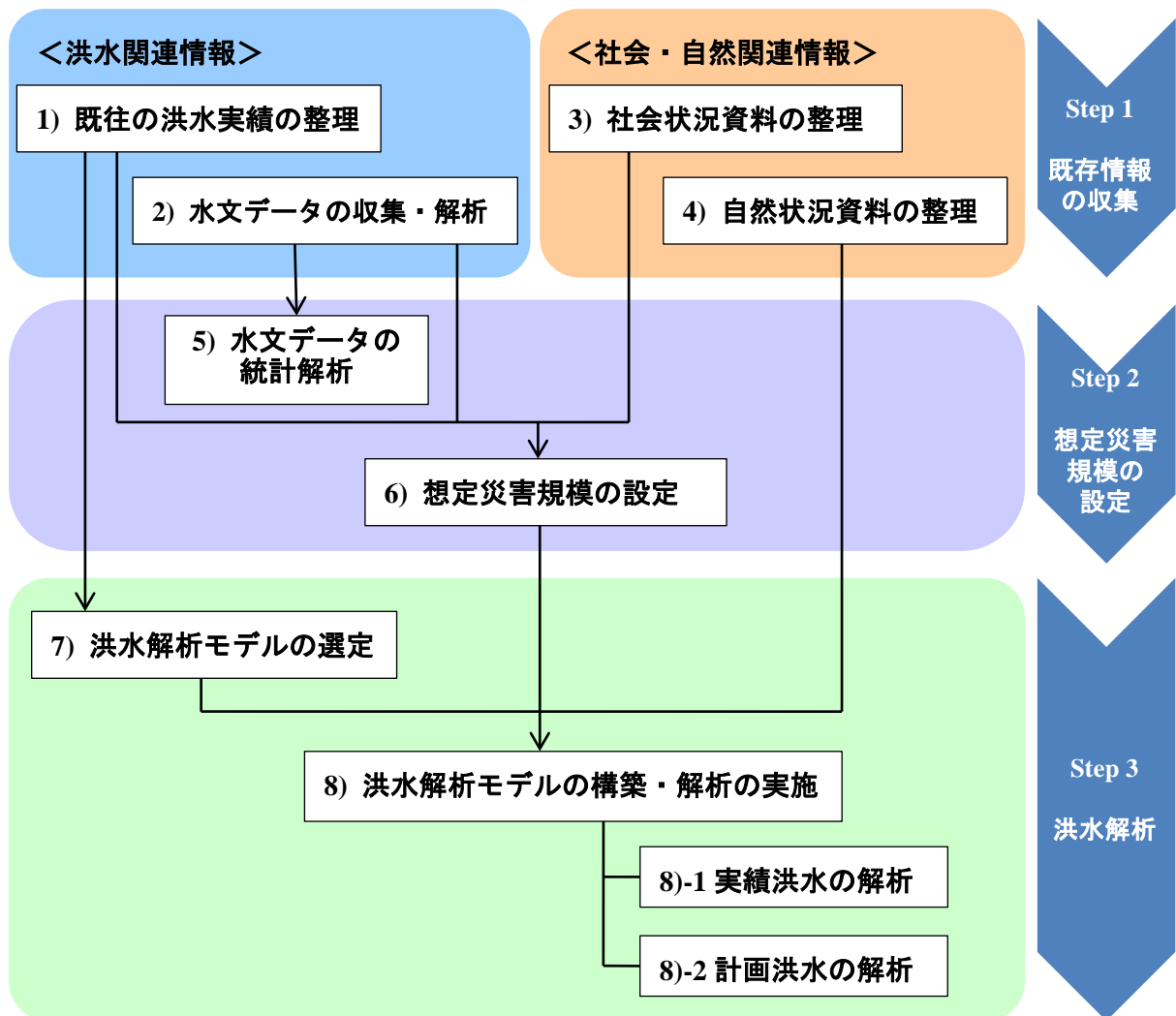


図 3.3.1 洪水によるハザード評価の流れ

【Step1】既存情報の収集

＜洪水関連情報＞

1) 既往の洪水実績の整理

対象地域において、過去に発生した洪水の記録を収集する。洪水発生時の降雨、河川水位、流量に関する情報のほか、被災記録や写真等から氾濫発生時の浸水範囲、浸水継続時間、浸水深、氾濫原因等を整理することで、洪水の特性や氾濫の特徴を把握することが可能になる。当該地域において洪水ハザードマップが作成されている場合は、ハザードマップに記載の情報（氾濫図、浸水深、浸水期間等）も活用する。

2) 水文データの収集・分析

対象地域における既存の水文データを取集する。収集すべきデータは降雨量（時間雨量および日雨量）、河川水位、河川流量、潮位などである。対象エリアにダムや水門などの河川施設がある場合は、これらについての操作記録も入手することが望ましい。収集した水文データから、洪水継続時間、洪水頻度、既往最大洪水発生時の状況などを分析する。また、河川横断形状についての情報も併せて収集する。

<社会・自然関連情報>

3) 社会状況資料の整理

対象地域の社会状況について整理し、洪水の影響を受ける可能性のある産業集積地、社会インフラを整理する。社会インフラは下記のとおり産業集積地内外の輸送に係る交通インフラと、事業を継続する上で必要不可欠なライフラインに大別される。これらの施設の分布状況から、実際に洪水ハザード解析を実施する対象地域を設定する。一般にインフラ施設は産業集積地の外に広く広がるため、ハザード解析の範囲も産業集積地に留まらない。

4) 自然条件資料の整理

対象地域の地形図を取集し、標高、土地利用、地質等の自然条件に関わるデータを整理する。なお、地形図情報の精度確保のため、縮尺は1/5,000以上を活用することが望ましい。

【Step2】 想定災害規模の設定

収集したデータをもとに、洪水ハザード評価のための、想定災害規模を設定する。既往最大、1/50、1/100、1/200の確率が基本設定となる。

5) 水文データの確率統計処理

収集した水文データを統計処理し、確率水量を算出する。統計処理方法としては、指数分布などの確率密度関数を適用し、適合度評価を行い、最適な確率密度関数を決定する。信頼性のある統計処理結果を得るためには、50年程度のデータがあることが望ましい。

6) 想定災害規模の設定

広域BCPの検討基準となる想定災害規模を設定する。想定災害規模を大きくすると、広域BCP策定のための検討内容が多くなり計画策定に労力を要するが、事業継続のための安全度は高まる。一方、想定災害規模が小さい場合、広域BCPの策定範囲は狭まり計画策定が比較的容易になるが、想定災害規模を超える災害が実際に発生した場合は、広域BCPが有効に機能しなくなる恐れがある。従って、対象地域の地域計画、行政方針、計画の実現可能性などについて地域住民を含む関係者と協議し、想定災害規模を決定することが望ましい。

【Step3】 洪水解析・評価

7) 洪水解析モデルの選定

対象エリアの洪水特性を解析する上で適切な解析モデルを選択する。解析ソフトは、洪水特性、必要とする解析精度、解析ソフトへの投資余力によって選択されるべきであるが、まずは IFAS 等の無償ソフトを活用する。

8) 洪水解析モデルの構築・解析の実施

8)-1 実績洪水の解析

選定したモデルを用い、過去の洪水発生時の雨量データを使用し、洪水流出解析を行う。その上で、流出解析結果と実績流量を比較し、洪水の再現精度を確認する。実績洪水の再現精度が低い場合は、解析モデルのパラメータを調整するなどし、モデルの精度を高める。

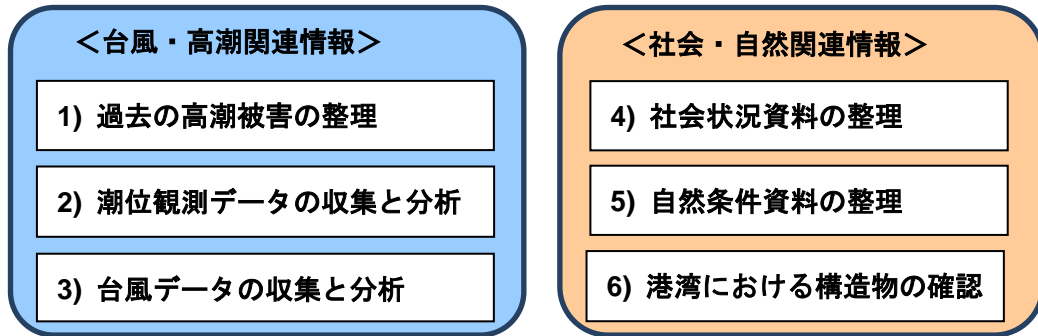
8)-2 計画洪水の解析

設定した想定災害規模における洪水解析を実施する。広域 BCP 策定上、また、河川管理上重要な地点について、浸水範囲、浸水深、湛水時間、氾濫流の流速を整理する。

3.4 高潮災害のアセスメント

高潮によるハザード評価の基本的な流れは図 3.4.1 の通りである。それぞれの流れの詳細を以下に示す。

【Step 1】 既存情報の収集と分析



【Step 2】 想定災害規模の設定



【Step 3】 高潮の解析・評価

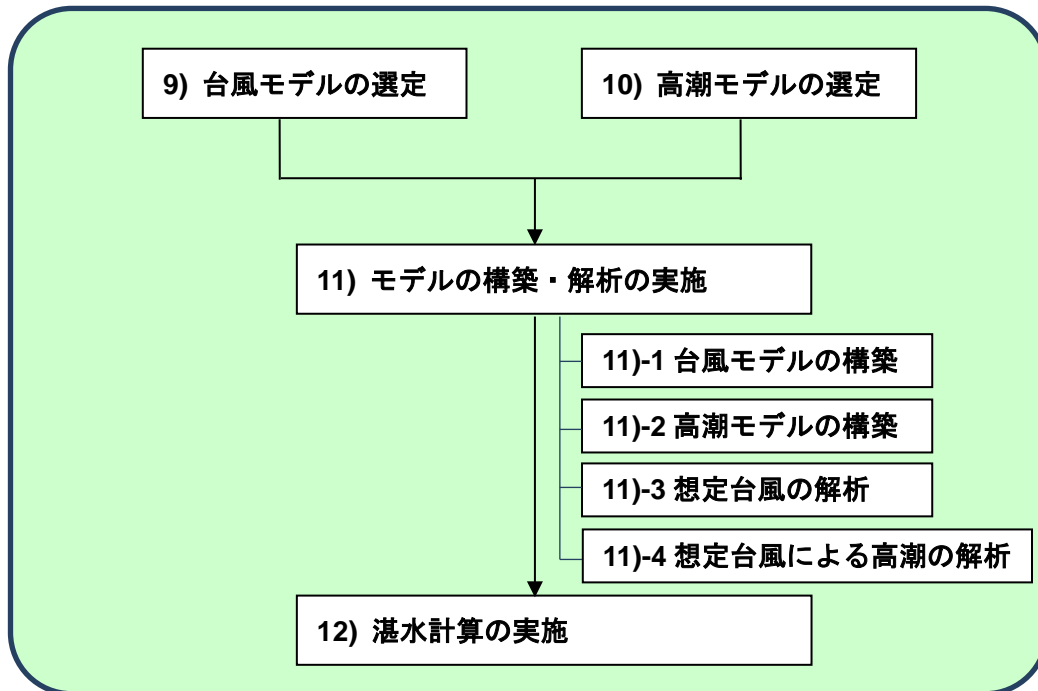


図 3.4.1 高潮によるハザード評価の流れ

【Step 1】既存情報の収集と分析

<台風・高潮関連情報>

1) 過去の高潮被害の整理

高潮のハザード評価を行う対象地域において、過去に発生した高潮の記録を収集する。主な収集データは、大規模な高潮が発生した日時と潮位、被災記録や写真、湛水範囲、湛水深などである。これらを整理することで、対象地域における高潮の特性を把握する。

2) 潮位観測データの収集と分析

対象地域の継続的な潮位観測データを収集する。これらは対象地域における天文潮位の推定に利用する。高潮によるハザードは、天文潮位に台風等による潮位変動を加算することで評価する。

3) 台風データの収集と分析

対象地域における過去の台風について、気圧、風向と風速、中心位置と時刻、最大風速半径などのデータを収集する。これらを整理することで、対象地域における台風の特性を把握する。

<社会・自然関連情報>

4) 社会状況資料の整理

対象地域で高潮の影響を受ける可能性のある産業集積地、社会インフラを整理する。社会インフラは交通インフラとライフラインに大別される。これらの施設の分布状況から、実際に高潮ハザード解析を実施する対象地域を設定する。一般にインフラ施設は産業集積地の外に広く広がるため、ハザード解析の範囲も産業集積地に留まらない。

5) 自然条件資料の整理

対象地域の地形的特徴を把握するため、陸上の標高やDEM、海域の水深データを収集する。より詳細な検討を行う場合は、土地利用や地質のデータも有用である。なお、精度確保のため、空間解像度 1km 未満のデータを活用することが望ましい。

6) 港湾における構造物の確認

防波堤や防潮堤といった人工構造物は標高データには含まれていない。高潮を評価する上で、これらの構造物は重要な要素となるため、構造物の位置と性能を収集する。

【Step 2】想定災害規模の設定

7) 台風データの極値統計解析

収集した台風データから、極値統計解析により台風の規模と再現年数の関係を算出する。有用な解析を行うために、50年間程度の台風データの使用が望ましい。

8) 想定災害規模の設定

広域 BCP の検討基準となる想定災害規模を設定する。想定災害規模を大きくすると、広域 BCP 策定のための検討内容が多くなり計画策定に労力を要するが、事業継続のための安全度は高まる。

一方、想定災害規模が小さい場合、広域BCPの策定範囲は狭まり計画策定が比較的容易になるが、想定災害規模を超える災害が発生した場合は、広域BCPが有効に機能しなくなる恐れがある。従って、対象地域の地域計画、行政方針、計画の実現可能性などについて地域住民を含む関係者と協議し、想定災害規模を決定することが望ましい。

【Step 3】高潮の解析・評価

9) 台風モデルの選定

台風による風と気圧を再現する上で適切なモデルを選択する。仮想的な確率台風を解析するには、想定した台風規模における風、気圧の分布を再現する台風モデルを利用する必要がある。一般的には Myers の式を基にした 2 次元台風モデルを利用する。

10) 高潮モデルの選定

対象地域の高潮を再現する上で適切なモデルを選択する。大学や NOAA などが作成した高潮モデルから、対象地域の特性、必要とする解析精度、利用可能な計算機資源等によって選択する。

11) モデルの構築・解析の実施

11)-1 台風モデルの構築

収集した台風データから過去の代表的な事例を選択し、台風モデルを用いて風と気圧の分布を算出する。解析結果と実際の観測された風と気圧のデータを比較し、再現精度を確認する。再現精度が低い場合はモデルのパラメータを調整し、再現精度を高める。

11)-2 高潮モデルの構築

選定した高潮モデルを用いて、作成した風と気圧の分布に基づいて解析する。解析結果と実際の潮位観測データを比較し、高潮の再現精度を確認する。再現精度が低い場合は、モデルのパラメータを調整し、再現精度を高める。

11)-3 想定台風の解析

設定した想定台風の規模から台風条件を決定する。高潮リスクは台風の規模のみで決定されるわけではなく、その半径、コース、進行速度によっても変化するため、対象とする台風について、複数のコースを検討する。

11)-4 想定台風による高潮の解析

算出した風と気圧の分布に基づいて潮位を解析する。設定した規模、半径、コース、進行速度によって、被害の大きさや、範囲が異なってくるため、総合的に検討を行い、広域 BCP 策定上あるいは、港湾等の重要な地点について湛水範囲、湛水深などの評価を行う。

12) 湛水計算の実施

高潮解析結果から、具体的な湛水範囲、湛水深を計算する。手法としては、静的な解析や動的な解析があり、必要とする解析精度、利用可能な計算資源等によって選択する。

第4章 パイロット地区のプロファイル

4.1 対象地域の概要

ベトナムでは、ハイフォン市をパイロット地区として選定した(図 4.1.1)。ハイフォン市は、首都ハイフンの東約 100km に位置し、面積 1,523.4km² で人口 1,878,500 人が住む中規模都市である。また、東シナ海に面するベトナム有数の港湾都市の顔も持つ。熱帯モンスーン気候に属し、四季がある。ハイフンの月平均雨量は 300mm 弱で、6月から9月に雨が多く、8月に降雨量のピークを迎える傾向にある。ハイフォン市の概要を表 4.1.1 にまとめる。



図 4.1.1 パイロット対象地域(ハイフォン市)位置図

表 4.1.1 パイロット対象地域(ハイフォン市)の概要

面積 ¹	ハイフォン市：1,523.4 km ²
人口 ¹	ハイフォン市：1,878,500 人
自然条件 ²	熱帯モンスーン気候に属し、2季がある。ハイフンの年間平均雨量は 1,600 – 1,800 mm で、5月から10月が雨季である。
その他地域の特徴	越中経済協力ベルトに位置し、中国（特に中国南部）との交流が盛んである。

¹ General Statistic Office of Viet Nam:

http://www.gso.gov.vn/default_en.aspx?tabid=467&idmid=3&ItemID=12941

² Vietnam Trade Promotion Agency: <http://www.vietrade.gov.vn/en/>

ハイフォン市には、操業中・建設中・計画中の工業団地が合計で7つあり、日系企業も多く進出している。稼働中の工業団地のなかで、野村ハイフォン工業団地は特に日系企業入居率が高く、54社中46社が日系企業であり、機械・自動車部品・電子部品などを製造している。

4.2 地方自治体の概要

ベトナムの地方行政区画は3段階に分かれ、第1級行政区(省)、第2級行政区(県)、第3級行政区(町村)からなる。ハイフォン市は中央直轄市であり、省には属さずにベトナム政府の管轄を直接受ける。ハイフォン市の組織図を図 4.2.1 に示す。

防災システム：暴風・洪水

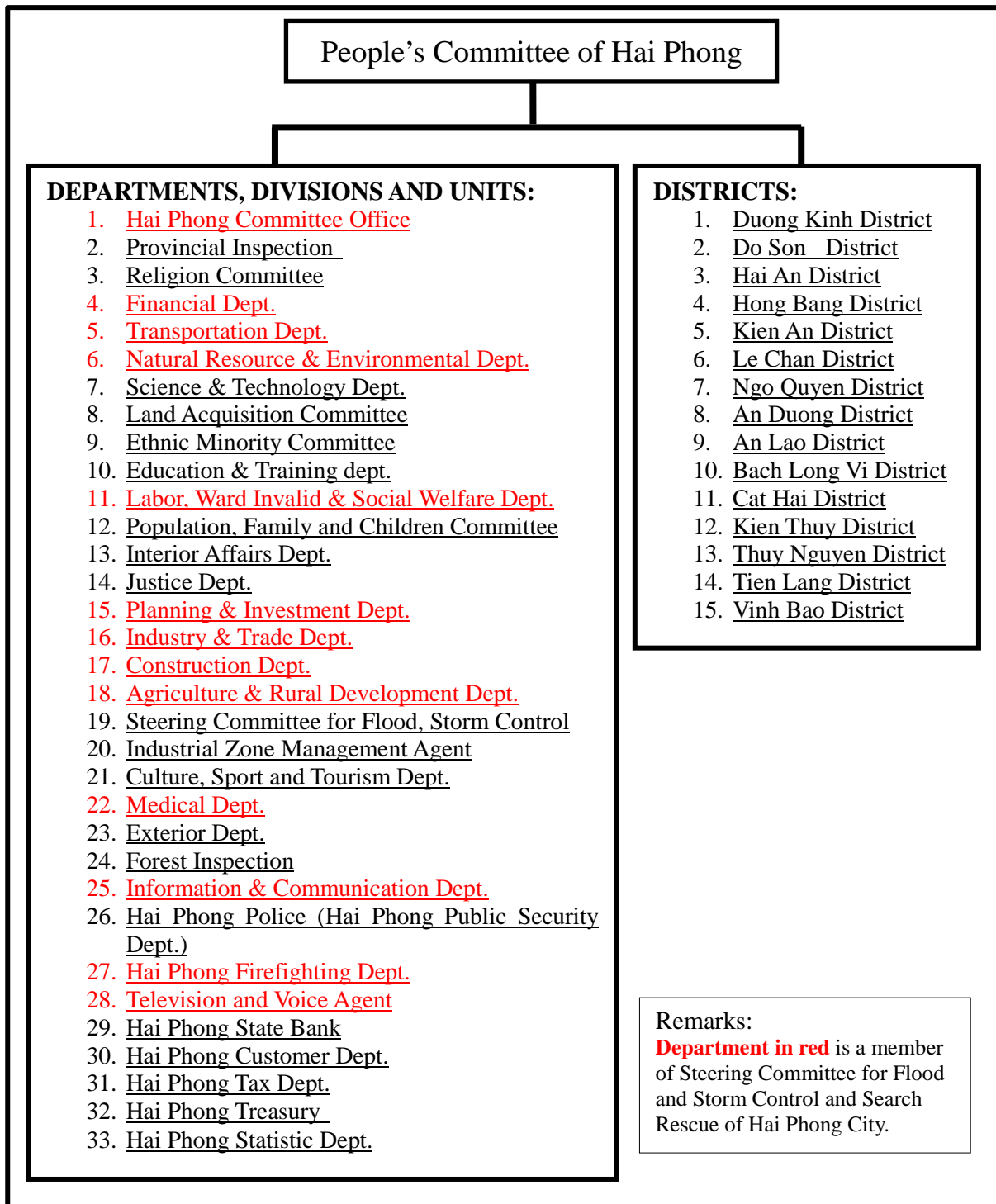
ベトナム国における暴風・洪水に関する防災システムは、主に災害管理センター(Disaster Management Center: DMC)に設置されている災害監視システムと早期警報システムである。一方、警報を発令する際の情報源である水文気象モニタリングは、国家水文気象サービス局(National Hydro-Meteorological Service: NHMS)が行っている。NHMS はこれらの情報を、マスメディア(テレビやラジオ)やNHMSのホームページなどで一般公開している³。

これらの中央政府機関が発する警報に対して、地方レベルでは、洪水・台風対応委員会「Committee for Flood and Storm Control(CFF&SC)」を設置し、事前対策・避難勧告、また台風洪水情報の提供や被害状況の調査などを行っている。ハイフォン市における洪水・台風対応委員会組織図を図 4.2.2 に示す。ハイフォン市洪水・台風対応委員会メンバーは、ハイフォン市人民委員会が発令した ANNOUNCEMENT No. 02/TB-PCLB&TKCN の規定に基づき、それぞれの役割を担っている(表 4.2.1)。

政府発表資料⁴や現地聞き取り調査の結果、2013年8月の台風上陸時には、中央政府や Hai Phong CFF&SC の緊急電信を介して、地域住民に迅速に通達されたことが明らかとなった。その一方で、外資民間企業が多く居住する工業団地のテナント企業への情報源は、主に大使館や工業団地事務所であり、政府機関からの情報は伝達されなかった事が報告された。防災情報システムの向上に際して、政府機関から民間企業への情報伝達方法の改善が課題として挙げられる。

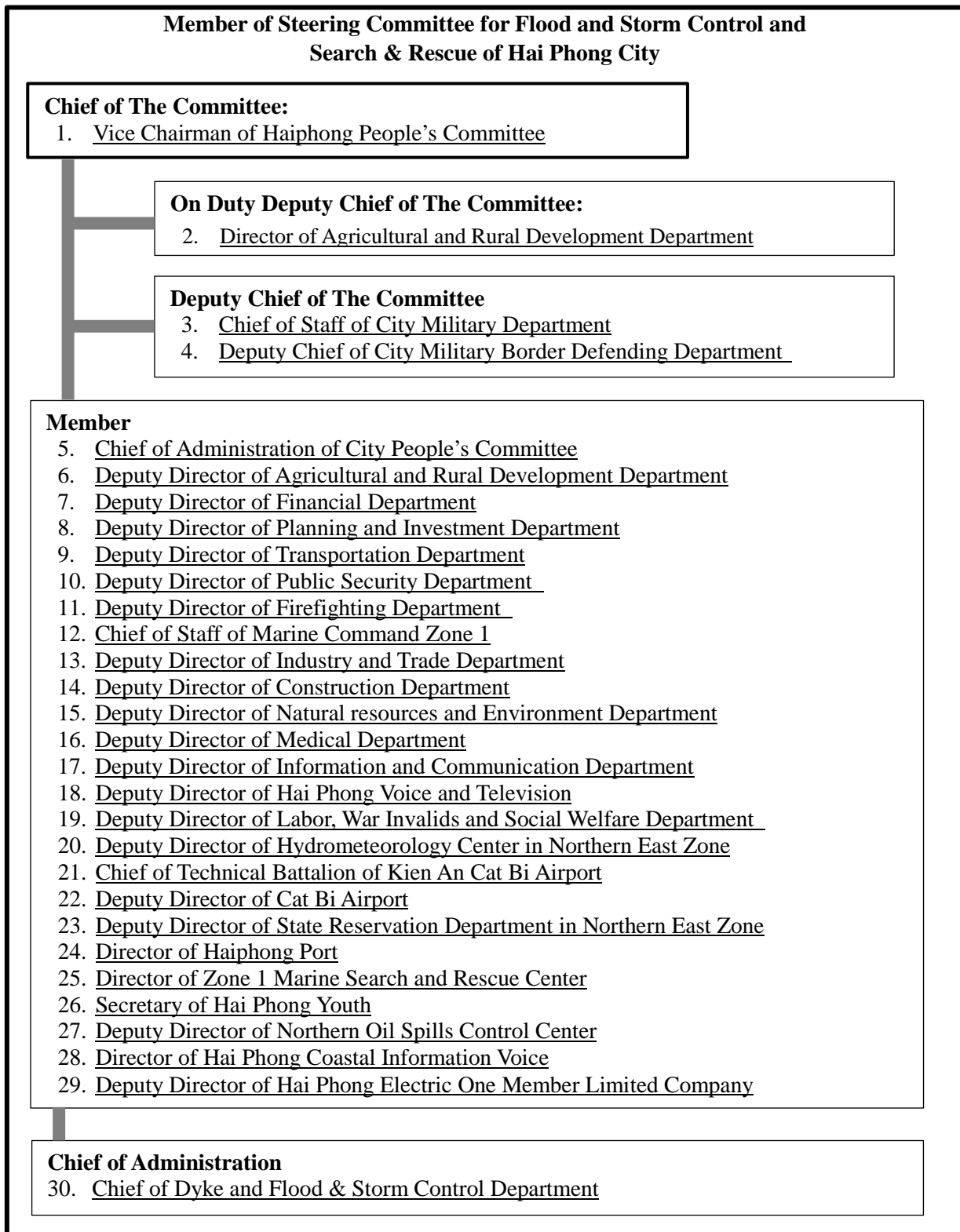
³ JICA : アセアン地域防災協力に関する基礎情報収集・確認調査 ファイナル・レポート 国別調査報告書 ベトナム、2012年12月

⁴ Hai Phong CFF&SC: Report Prevention and control and recover works response to Tropical Storm JEBI, August 2013.



出典：JICA 調査団

図 4.2.1 ハイフォン市の組織図



出典：Hai Phong People's Committee, "DECISION No. 643/QD-UBND: ref. Nomination members for Steering Committee for Flood and Storm control and Search & Rescue of Hai Phong City, April 2013.

図 4.2.2 ハイフォン市人民委員会 洪水台風対応委員会

表 4.2.1 ハイフォン市人民委員会 洪水台風対応委員会 役割一覧

No.	Name	Office position	SC position	Section in charge
1	Do Trung Thoai	Vice Chairman of People's Committee	Chief of Steering Committee	- General control.
2	Bui Trong Tuan	Director of Agricultural and Rural Development Department (DARD)	On-duty Deputy Chief; Chief of Flood & Storm Control Sub-Division	- Control the work of the steering committee when the Chief is out; - Directly control and coordinate with divisions in assigned works.
3	Nguyen Van My	Chief of Staff of City Military Department	Deputy Chief; Chief of Search and Rescue Sub-Division	- Provide guidance to set up plan to mobilize military force for flood, storm control, search and rescue activities; - Directly control and coordinate with search and rescue, earthquake, tsunami.
4	Pham Quang Dao	Deputy Chief of City Military Border Defending Department	Deputy Chief	- Control, manage safety for human and facilities in sea, islands region; - Provide guidance to set up plan to mobilize defend force for flood, storm control, search and rescue activities; oil spills accidents.
5	Pham Huu Thu	Chief of Administration of City People's Committee	Member	- Advise and assist Communist party, PPC, People's council in their management activities relating flood, storm control, search and rescue activities; oil spills accidents.
6	Dao Viet Thuan	Deputy Director of Agricultural and Rural Development (DARD)	Member	- Provide guidance to setup plan and methods to ensure safety for fishermen, aquaculture firms and their properties; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Cat Hai District.
7	Nguyen Thi Thuong Huyen	Deputy Director of Financial Department	Member	- In charge of financial sources to maintain dyke system, flood, storm control, search and rescue activities; to cope with oil spills accident; to overcome natural disaster damages; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for An Duong District and financial sector.
8	Nguyen Thanh Long	Deputy Director of Planning and Investment Department	Member	- In charge of planning and investment to maintain dyke system, flood, storm control, search and rescue activities; to overcome natural disaster damages; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Thuy Nguyen District.
9	Vu Duy Tung	Deputy Director of Transportation Department	Member	- Provide guidance to set up transportation plan and assist activities to maintain transportation system in case of natural disaster happens, to mobilize transportation means to rescue the dyke in emergency cases, To coordinate for flood, storm control, search and rescue activities; to cope with oil spills accident; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Do Son District and transportation sector.
10	Tran Dinh Vang	Deputy Director of Public Security Department	Member	- Provide guidance to set up plan to maintain security and safety for people before and after natural disaster; To mobilize police force for flood, storm control, search and rescue activities; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Hong Bang District and police sector.
11	Pham Viet Dung	Deputy Director of Firefighting Department	Member	- Provide guidance to set up plan for firefighting and rescue in case natural disaster happens.
12	Tran Ngoc Quyet	Chief of Staff of Marine Command Zone 1	Member	- Provide guidance to set up plan, to mobilize human resources from Marine Command Zone 1 in emergency cases for flood, storm control, and search and rescue activities.
13	Le Minh Son	Deputy Director of Industry and Trade Department	Member	- Provide guidance to set up plan, to mobilize material, fuel, consumer goods for flood, storm control, search and rescue activities; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Tien Lang District and Industry-Trade sector.
14	Vu Huu Thanh	Deputy Director of Construction Department	Member	- Provide guidance to set up plan, to mobilize material, facilities of construction sector to rescue damaged houses and for flood, storm control, search and rescue activities; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Le Chan District and construction sector.
15	Nguyen Tu Trong	Deputy Director of Natural Resources and Environment	Member	- Provide guidance to set up plan, to maintain environmental safety in damaged area; take part in setup plan and to cope with oil spill activities;

		Department		- Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Kien Thuy District and Environmental sector.
16	Nguyen Tien Son	Deputy Director of Medical Department	Member	- Provide guidance to set up plan for medical sector in damaged area; emergency actions and disease prevention; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for An Lao District and medical sector.
17	Pham Van Tuan	Deputy Director of Information and Communication Department	Member	- Provide guidance to set up plan to maintain communication for natural disaster damaged area and oil spills; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Bach Long Vy District and communication sector, communication and post offices.
18	Bui Thanh Long	Deputy Director of Haiphong Voice and Television	Member	- Provide guidance to setup plan for information and communication on flood, storm control, search and rescue as well as oil spills accident; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Ngo Quyen District.
19	Do Van Binh	Deputy Director of Labor, War Invalids and Social Welfare Department	Member	- Provide guidance to setup plan for rescue and humanity social policies in damaged regions; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Duong Kinh District and Labor, Invalids and Social sector.
20	Nguyen Vu Thang	Deputy Director of Hydrometeorology Center in Northern East Zone	Member	- Provide guidance to setup plan and being implementing agency for weather forecast and warning concerning natural disasters; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Kien An District.
21	Nguyen Thai Thinh	Chief of Technical Battalion of Kien An Cat Bi Airport	Member	- Provide guidance to set up plan, to mobilize human resources from the airport in emergency cases for flood, storm control, search and rescue activities, airlines accidents and oil spills.
22	Nguyen Quoc Tuan	Deputy Director of Cat Bi Airport	Member	- Provide guidance to set up plan, to mobilize human resources from the airport in emergency cases for flood, storm control, search and rescue activities, airlines accidents and oil spills.
23	Vu Nhat Le	Deputy Director of State Reserves Department in Northern East Zone	Member	- Provide guidance to set up plan to mobilize the state reserves for flood, storm control, search and rescue activities; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue for Hai An District and State Reserves Department in Northern East Zone – Hai Phong region.
24	Bui Van Minh	Director of Haiphong Port	Member	- Coordinate to set up plan and take part in flood, storm control, search and rescue activities; oil spill accidents in Hai Phong area; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue in Hai Phong Port area.
25	Tran Van Do	Director of Zone 1 Marine Search and Rescue Center	Member	- Provide guidance to set up plan, to mobilize human resources from the Center in emergency cases for flood, storm control, search and rescue activities in rivers and sea in Hai Phong region.
26	Tran Quang Truong	Secretary of Haiphong Youth	Member	- Provide guidance to set up plan, to mobilize human resources from Hai Phong Youth in emergency cases for dyke prevention, flood, storm control, search and rescue activities; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue in Vinh Bao District.
27	Dinh Bang Sat	Deputy Director of Northern Oil Spills Control Center	Member	- Head to setup plan to mobilize human resources from the Center in emergency cases for oil spills accidents.
28	Nguyen Ba Huy	Director of Hai Phong Coastal Information Voice	Member	- Lead to carry out communication activities in The Voice of Hai Phong Coastal Zone; - To ensure VHF audio frequency for flood, storm control, search and rescue activities.
29	Nguyen Thanh Hung	Deputy Director of Hai Phong Electric One Member Limited Company	Member	- Lead to set up plan for power sustainable, set priority order for power supply for flood, storm control, and search and rescue activities; - Assist and supervise activities on flood, storm control, search and rescue in electric sector.
30	Nguyen Ba Tien	Chief of Dyke and Flood & Storm Control Department	Chief of Administration	- Operate activities of the office of City Steering Committees for Flood& Storm Control and Search & Rescue; - Administration activities and reports.

出典: Hai Phong People's Committee, "ANNOUNCEMENT No. 02/TB-PCLB&TKCN: Ref. Task assignment for members of Steering Committee for Flood and Storm Control and Search & Rescue of Hai Phong City", April 2013

4.3 産業集積地の状況

広域 BCP の策定にあつたては、Nomura Hai Phong Industrial Zone を選び、他のすべてを代表する工業団地とした。ハイフォンにおける当調査の対象となる工業団地は以下の 6 つである。

- ① Dinh Vu Industrial Zone
- ② Do Son Industrial Zone
- ③ Nam Cau Kien Industrial Zone
- ④ Nomura Hai Pohong Industrial Zone
- ⑤ Trang Due Industrial Zone
- ⑥ VSIP Hai Phong Industriasl Zone

ドイモイ政策による自由化によって、1987 年に法律が制定され海外の直接投資が認可された結果、2012 年 2 月現在の工業団地の開発プロジェクトの 80% 及び、投資額の 85% が、中国または東南アジアの投資家によるものである。ハイフォンの 6 つの工業団地に進出した企業数は約 170 社である。この内日系企業は 40% を上回り、Nam Cau Kien Industrial Zone 以外の工業団地には全て日系企業が入居している。

4.3.1 産業集積地における工業団地

Nomura Hai Pohong Industrial Zone (NHIZ) には 54 社のテナント企業が入居しているが、その内日系企業は 46 社を占める。NHIZ 以外の工業団地で有力とみなされる VSIP Hai Phong Industrials' Zone には、以下で詳述するように 6 社の日系企業が入居する。

Nomura Hai Phong (NHIZ)

Nomura- Haiphong は、1997 年に北ベトナム初の工業団地として建設された。これはハイフォン市と日本の野村ファイナンスグループのジョイントベンチャーによる工業団地で、日本の技術を導入する戦略が有力投資家の興味を引き付けた。NHIZ は 153 ヘクタールの広さであり、内 123 ヘクタールが工場に割り当てられ、30 ヘクタールにはエネルギー・水等の公共施設である。50MW の変電所は独立しており、日量 13,500m³ の給水設備、2,000 の電話回線、最新の排水処理施設、道路と、インフラ施設は十分に開発されており、NHIZ はベトナムでも有数の新しい工業団地と考えられている。



出典: NHIZ

図 4.3.1 Nomura Hai Phong Industrial Zone (NHIZ)

- ① 最寄りの幹線道路：国道 5 号線まで 1km
- ② 最寄りの港湾：ハイフォン港まで 15km
- ③ 最寄りの空港：Cat Bi 空港まで 20 km
- ④ 最寄りの鉄道駅： 2 km
- ⑤ 現状：
 - 入居率： 100%
 - 入居企業： 54 社 日系 46 社 他は欧米・韓国 登記された資本金は 10 億 US\$
 - 主要産業 Main industrial sectors:
 - 機械・機器製造： 14 社
 - ゴム・プラスチック製品製造： 7 社
 - 電気機器製造： 5 社

VSIP Hai Phong

VSIP Hai Phong は、1,600 ヘクタールの敷地内に都市、工業団地及び公共的なサービスセンターを有す。Cam 川の北岸に位置するので、戦略的に有利な立地である。VSIP Hai Phong の土地の 1,100ha は、都市開発のために活用され、残りの 500ha は工業団地とその関連サービスのための施設に充てられている。VSIP Hai Phong は 2009 年に稼働を開始した。



出典: VSIP Hai Phong

図 4.3.2 VSIP Hai Phong

- ① 最寄りの港： ハイフォン港まで 16 km
- ② 最寄りの空港： Cat Bi 空港まで 15 km。 Noi Bai International 空港まで 120km
- ③ 最寄りの鉄道駅： ハイフォン 駅まで 14 km
- ④ 工業団地の現状:
 - 占有率：公表値なし
 - 入居企業数：18（土地の賃貸借は確定しているが操業には至っていないものを含む）
 - 主要産業：
 - 軽工業・ハイテク産業：16
 - 都市開発：2
 - 環境破壊のおそれがある重工業は対象となっていない。

VSIP Hai Phong はベトナムとシンガポールのジョイントベンチャーである。ベトナムは政府の Becamex、シンガポールは三菱商事も出資している Sembcorp である。

4.3.2 Nomura Hai Phong Industrial Zone の入居企業

Nomura Hai Phong Industrial Zone で実施されている在庫管理状況は以下のとおりである。

- ① 代替生産

23 社の内 2 社だけが代替生産工場を持っている。1 社は自動車部品の生産工場で、Nomura Hai Phong Industrial Zone から 50km 離れた Thai Binh にある分工場の生産設備を緊急時のバックアップ用としている。もう 1 社は自動車用の“Airbag Handle”の生産工場である。同社は、タイ及び中国にある工場を緊急時のバックアップ用としている。
- ② 製品在庫

23 社の内 65%に相当する 15 社は、自社倉庫に製品在庫を持つ。残りの 8 社は製品在庫を持っていない。
- ③ 原材料在庫

23 社の内 70%に相当する 16 社は、自社で原材料在庫を持つ。残りの 7 社は原材料在庫を持っていない。

4.4 運輸インフラの状況

4.4.1 道路

(1) 概要

ハイフォン市における主要な道路は、国道5号線と国道10号線である。国道5号線は、ハノイ市とハイフォン市を結ぶほぼ東西方向に位置している。レベルは2。全長は102kmで、全幅員23.5m、6車線の道路である。ベトナムの最主要幹線である国道1号線とハノイ市でリンクしており、ベトナムで最も近代的な道路と呼ばれ、最重要な北部幹線道路である。

国道5号線の交通量は、年間に16%もの非常に高い増加率を示している。特にトラックについては大幅な増加が想定されており、ハイフォン市の港湾施設と工業団地での、輸出入品の輸送ルートとしての重要性を増している。国道5号線の輸送量は、当初1500万トン/年を想定していたが、現在3840万トン/年である。5,600台のコンテナ車とその輸送の中心を担っていることから、重量増と混雑が年々厳しさを増している。

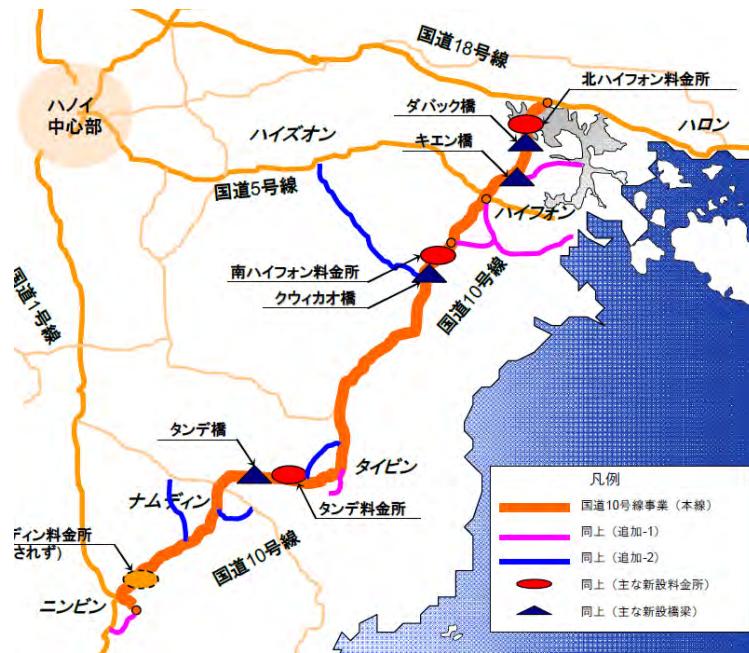
表 4.4.1 国道5号線における交通量（単位：PCU/day）

種類	乗用車	バン	バス	トラック	車両合計
基準値(1993年)(28km)	1,034	291	281	1,306	2,912
計画値(2008年)(28km)	4,319	1,215	1,381	12,289	19,204
実測値(2006年)(9km)	4,788	1,499	4,539	8,955	19,781
計画年間増加率	10%	10%	11%	16%	13%
実際の年間増加率	13%	13%	24%	16%	16%

出典：2007年ベトナム・日本合同評価チーム、国道5号線改良事業

また国道10号線はハイフォン市の東側に位置し、西南から東北方向に国道1号線と南側の主要都市ニンビン市に、北部ではハロン湾に繋がる国道18号線にリンクした全長157km片側2車線の道路である。この両国道がハイフォン市と外部とを結ぶ物流上重要な幹線道路となっている。レベルは3。

ハノイ市～ハイフォン市間の新高速道路5号線（全長105.5km、全幅員35m）が建設中で、今年度中に完成予定である。



出典：島村真澄、円借款事業評価報告書、国道10号線改良事業

図 4.4.1 ハイフォン市周辺の幹線道路網

(2) 都市内道路

都市内道路の総延長は324kmであり、基本的にはハイフォン港を中心とするセミサークルの環状道路とそれからの放射線状の道路から成立っている。主要道路数は、33路線である。

(3) 車両数

ハイフォン市内の車両数は、下記の通りである。2010-2011年の景気後退後の回復に伴い、車両数の大幅な増加が見て取れる。

表 4.4.2 車両数の推移

種類	2008	2009	2010	2011	2012
Small Car	2,493	2,794	2,847	3,989	3,801
Light Lorry	3,483	3,787	3,835	5,493	6,381
Middle Van	1,606	1,587	1,570	2,948	3,077
Heavy Truck	5,247	5,729	5,474	13,278	11,222
Passenger Car	2,450	2,498	2,680	5,459	4,797
合計	15,279	16,395	16,406	31,167	29,278
Motorbike	40,144	38,058	33,842	26,142	34,368
Bicycle	12,500	12,701	13,571	11,058	11,821

出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

4.4.2 港湾

(1) 概要

ハイフォン市の代表的な港湾は、ハイフォン港、ディンブー港である。

ハイフォン港は河川港であり、航路水深が 5.7m～7.8m と浅く大型船が入港できない。最大 4 万トンが上限である。500~700TEU 積クラスの小型フィーダー船が配船されている。

ディンブー港は Cam 川の最下流にある。中州を利用して埋立・造成がされ、工業団地の開発に合わせて整備がなされている。前面水域の浚渫が進めば、1,000TEU 積みクラスのフィーダー船の寄港が可能になる。

ハイフォン市の沖合いにハイフォン国際ゲートウェイ港が整備された場合、3,000~4,000TEU 積クラスの大型フィーダー船の寄港が可能になる。

(2) 取扱貨物量

表 4.4.3 取扱貨物量

項目	2006	2008	2009	2010	2011
合計 (百万トン)	11,151,000	13,900,000	14,370,000	15,688,689	17,891,568
輸入 (百万トン)	5,199,000	7,635,000	8,226,000	7,815,129	7,861,456
輸出 (百万トン)	2,825,000	3,231,001	2,376,000	2,858,577	3,989,431
国内 (百万トン)	3,127,000	3,103,000	3,768,000	5,014,983	6,040,681
コンテナ TEUs	464,000	808,000	816,000	953,646	1,018,794
Ship Call	2,056	4,779	4,779	5,298	2,470

出典：Vietnam Seaport Association, Shipping Times, Hai Phong Port

(3) 港湾設備

港は主に 3 地域 (ターミナル) に分散して位置している。



図 4.4.2 Central Terminal バース平面図

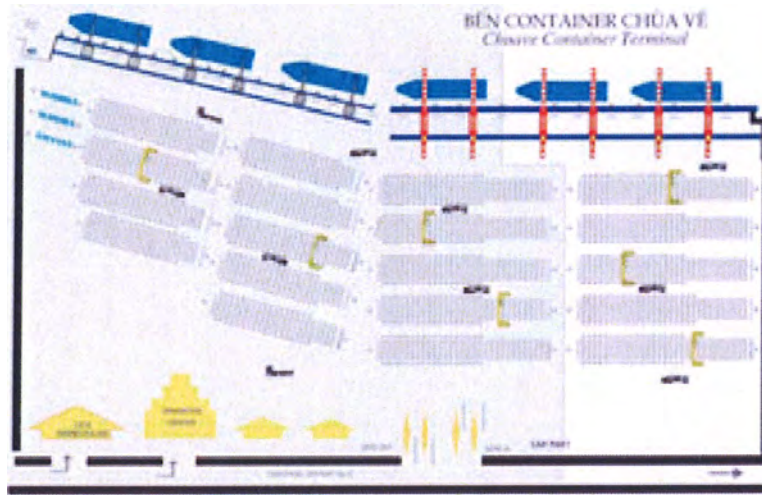
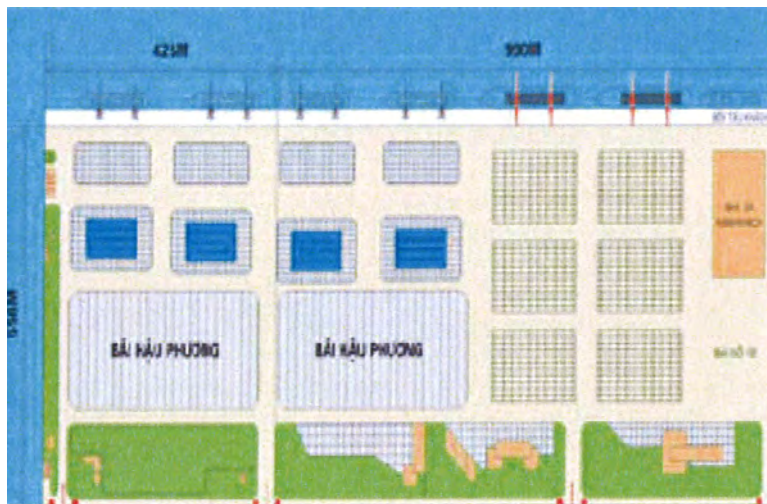


図 4.4.3 Chua Ve Terminal バース平面図



出典 : Unison Shipping Services / Starline Shipping Agencies (Vietnam)

図 4.4.4 Dinh Vu Port Area バース平面図

港湾施設は、下記の通りである。

表 4.4.4 港湾施設

バース番号/数	長さ	深さ	設備	船/貨物
Central Terminal				
M1~M11, 11	1,717 m	-8.4 m	Shore cranes 5MT, 10MT, 16MT, 32MT Floating Cranes, 10~80MT Forklift Automatic bagging line Electronic scale 80~120MT	General cargo, container, bag, bulk vessels
Chua Vu Terminal				
C1~C5, 5	714 m	-8.4 m	Shore crane 40MT Gantry crane 32MT Dedicated forklifts 2~42MT Elect. scale 80MT	Container, general cargo vessel

Dinh Vu Terminal				
DV3~DV7, 5	1,135 m	-10.5 m	Jb/Slewing crane 40MT Quayside gantry crane	Container, general cargo vessels 20,000DWT/ 1,200TEUs

出典：Vietnam Seaport Association, Shipping Times, Hai Phong Port

(4) アクセス水路

表 4.4.5 アクセス水路

水路名	長さ (km)	幅 (m)	Critical Depth (m)
Lach Huyen	17.5	100	-7.8
Ha Nam	6.3	70	-5.7
Bach Dang	9.2	70	-6.1
Song Cam	9.8	70	-6.1
合計	42.8		

出典：Unison Shipping Services / Starline Shipping Agencies (Vietnam)

4.4.3 鉄道

(1) 概要

ハイフォン～ハノイ～ラオチャイ鉄道路線は、中国南部の Kunming 駅と結ばれており、中国南部への貨物輸送の動脈となっている。運行列車数は1日2～3往復であり、少ない。線路は単線で、河川横断箇所4ヶ所（橋梁）及び211ヶ所の道路交差がある。

表 4.4.6 ハノイ～ハイフォン路線

路線	創設	長さ	駅数	旅行時間	軌間
Hanoi-Haiphong	1902年	102 km	18、ハイフォン市内4	2.5 hr	1,000 mm

出典：Wikipedia, Rail transport in Vietnam



図 4.4.5 ハイフォン付近の鉄道網

路線の周辺地域には、40以上の工業団地があり、計画中や建設中の工業団地も数多くみられる。工業団地が最も集中しているのは、国道5号線沿いである。しかしこの工業団地から入荷

される原材料や出荷される製品は、殆どがトラックで運ばれ、鉄道が寄与する割合は非常に小さなものである。

コンテナ輸送と旅客・貨物輸送が行われているが、その規模は小さい。標準軌化や電化も行われていない。鉄道の管理・運営は、ベトナム鉄道公社 (VNR)が行っている。

(2) 貨物輸送

ハノイ～ハイフォン間の貨物輸送の状況を示す。下り方向が増えているのは、工業製品の輸出・移出が増えていることを示している。コンテナ外の鉄道輸送は、石炭、鉱石、石材などの重量物輸送に特化している。1度の連結車両数は、28 車両以下である。

表 4.4.7 ハノイ～ハイフォン間の貨物輸送

Description	Unit	2001		2010	
		Figure	Share %	Figure	Share %
Freight Volume	ton / year	496,289		1,385,300	
	ton / day	1,360	100	3,795	100
Down Direction	ton / day	653	48	2,467	65
Up Direction	ton / day	707	52	1,328	35

出典：(社) 海外鉄道技術協力協会、ハノイ・ハイフォン市を含む北部ベトナム鉄道及び物流網の改善調査 報告書要約

(3) 乗客数

ハイフォン駅から、他地方に行く 1 年間の乗客の数は下記の通りである。

表 4.4.8 ハイフォン駅の乗客数 2010

No.	旅行ルート	合計
1	HaiPhong – Hon Gai	62,212
2	HaiPhong – MongCai	28,7132
3	HaiPhong – Cat Ba	401,066
4	HaiPhong – Thai Binh – Nam Dinh	112,424
5	International passengers	200,000

出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

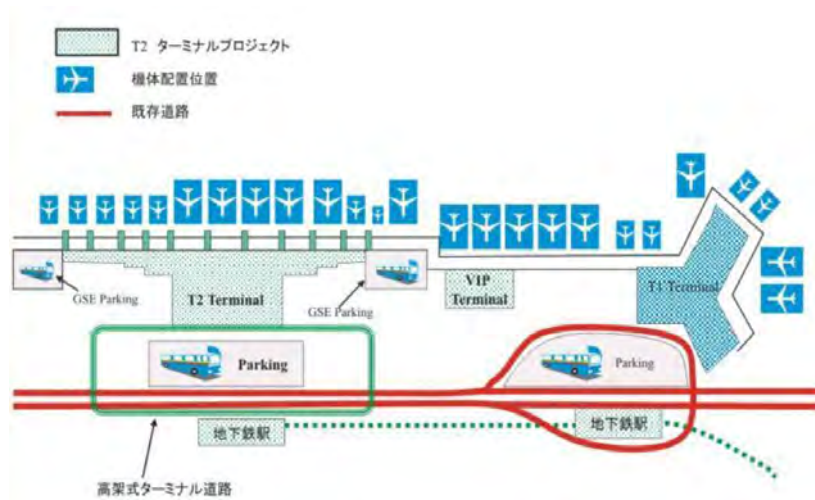
4.4.4 空港

(1) 概要

ハイフォン地区での空港は、ハノイ市の Noi Bai 国際空港と、ハイフォン市の Cat Bi 空港が上げられる。殆どの航空貨物及び国内・国外への旅行者は、Noi Bai 国際空港を利用している。ハイフォン市の Cat Bi 空港は、ホーチミン市とダナン市への旅客輸送と、わずかな航空貨物を扱っているのみである。空港は、北部空港総公社 (Northern Airports Authority : NAA) が運営・管理している。

(2) Noi Bai 国際空港

Noi Bai 国際空港は、ハノイ中心部より 45km 北に位置している。現在ターミナル 1 だけでの運営になっているが、拡張工事が行われており完成時にはターミナル 2 とその横の貨物専用ターミナルの使用が可能になる。



出典：JETRO, インフラマップ 2011

図 4.4.6 Noi Bai 国際空港概略図

空港は、軍民共用空港であり、3,800m×45m の滑走路を 2 つ備えている。ロビーは、ロビー A・B が国際線、ロビー C・D が国内線と分かれている。

表 4.4.9 Noi Bai 国際空港の離発着数 2 August 2013

発着機数	141 / 日
到着機数	139 / 日
合計	280 / 日

出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

表 4.4.10 Noi Bai 国際空港の取扱航空貨物量

年	取扱貨物量(トン)	日平均 (トン)
2010	324,214	888
2011	249,046	682
2012	281,807	772
2013 up to May	285,841	783

出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

旅客者数は、下記の通りである。年 10%以上の増加率を示している。

表 4.4.11 旅客者数

年	旅客者数
2010	9,519,839
2011	10,797,923
2012	11,314,902
2013 up to May	11,556,600

出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

(3) Cat Bi 空港

2,400m×50m の滑走路を有する、国内専用空港である。B737 と A320 飛行機以下の航空機が利用可能である。2015 年までに滑走路を 3,050m に拡大し、国際空港に昇格する計画がある。

2013 年の 5 ヶ月間で、2,448 回の離発着を記録した。2012 年の同時期のフライトの 16.8% 増である。利用した旅客者数は、316.6 千人の離発着者があり、昨年度の同時期の 23.29% 増となっている。貨物は 2,310 トンで、29.27% 増となっている。



出典：JETRO, インフラマップ 2011

図 4.4.7 Cat Bi 空港位置図

4.4.5 バス

ハイフォン市内には、5つのバスステーションがある(Cau Rao, Niem Nghia, Tam Bac, Lac Long, Vinh Bao)。全バスセンターの総面積は、37,130m²である。公共輸送手段としてのバスとしては、6社が13のルートに113台のバスを運行している。ハイフォン市内には、その他ワゴンタイプのミニバスがある。Inter-Province ルートが103、Local ルートが23あり、47の会社が570台の車両を運行している。タクシーは、27の会社が1,700台の車両を運行している。

4.4.6 水上交通

河川を利用した水上交通が発達している。7社が16艘の船を運航しており、トータルの席数は1,400である。

4.5 ライフラインと公共サービスの状況

4.5.1 電気

(1) 概要

ハイフォン市では、ベトナム電力総公社 (Electricity of Vietnam: EVN) からハイフォン電力会社 (Haiphong Power Company) に約 8~9.5 million KW/day の電力が供給され、そこから市内の 220kV の 3ヶ所の変電所及び 110kV の 25ヶ所の変電所を通し一般に電力が配電されている。

表 4.5.1 TBA220kV の変電所

変電所	コード	スペック	位置
Vat Cach	1T	125MVA	An Hong commune, An Duong district
	2T	125MVA	
Dong Hoa	1T	125MVA	Dong Hoa commune, Kien An district
	2T	250MVA	
Dinh Vu	1T	250MVA	Dinh Vu industrial, Dong Hai commune

出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

表 4.5.2 220kV 送電線

送電線	ケーブル	距離	位置	
220kv Phai Lai-Dong Hoa	AC400	55km	From	Hai Dong
			Via	Dong Hoa Kien-An
			To	Hai Phong
HP1 electricity-Dinh Vu	2x400mm ²	16km	From	Tam Hung Thuy Nguyen
			To	Dong Hai
Dong Hoa-Dinh Vu	2x500mm ²	17.7km	From	Tam Hung Thuy Nguyen
			To	Dong Hai
Trang Bach-Vat Cach- Dong Hoa	ACK-450	22km	From	Trang Bach Quang Ninh
			Via	Hong An Duong
			From	Dong Hoa

出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

表 4.5.3 ハイフォン Power Company により運営される 11kV 送電線

No.	項目	数量
1	TBA 110kV の数	24 TBA
2	MBA 110kV の数	39 MBA
3	MBA の容量	1,468 MVA
4	110kv 送電線	377.18 km

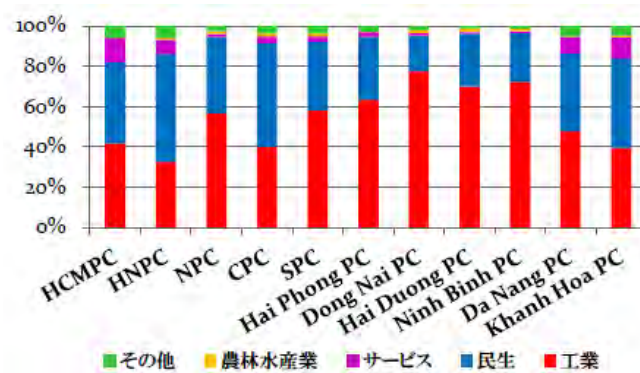
出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

また、EVN のグループ会社である Hai Phong Thermal Power Joint Stock Company（ハイフォン火力株式会社）が、ハイフォン火力発電所の第 1 フェーズ（600MW=300MW×2 発電機）を稼動し始めた事により安定した電力供給が可能となった。

ハイフォン市については工業用途の割合が 62% となっており、比較的工業用途が高い。

(2) 配電・小売

配電・小売事業は 11 社の配電事業者により運営されている。（ハノイ：HPC/HNPC、ホーチミン：HCMPC、ハイフォン：HPPC/NPC、ドンナイ：DNPC/SPC、ハイドン：HDPC、ニンビン：NBPC、ダナン CPC（ダナン北部：PC1、ダナン南部：PC2、ダナン中部：PC3）、カインホア：Khanf Hoa）、このうち 10 社は EVN の傘下の独立採算の公社であるが、Khanh Hoa は株式会社化されている。



出典：JETRO,ベトナム電力調査 2011

図 4.5.1 各配電公社の電力消費セクター割合

4.5.2 水道

(1) 上水道概要

ベトナムにおける都市部の水道事業についての範疇分けは、下記の通りであり、ハイフォンはカテゴリー I に分類されている。

表 4.5.4 都市部の範疇

都市範疇	都市形態	人口規模	都市
特別市	大都市	150 万人以上	ハノイ、ホーチミン
カテゴリー I	国都市	50～150 万人	ハイフォン、ダナン、カントー
カテゴリー II	地方都市	25～50 万人	フエ、ニャチャン、他 10 都市
カテゴリー III	県都市	10～25 万人	16 都市
カテゴリー IV	地域自治体	5～10 万人	58 自治体
カテゴリー V	地域自治体	0.4～5 万人	612 自治体

出典：厚生労働省、平成 21 年度水道国際貢献推進調査報告書

下記の分類により、都市水道セクターの達成目標が決められている。

表 4.5.5 新開発指針目標(2009) でのカテゴリー I (ハイフォン市)

項目	都市範疇	2015 年	2025 年
Water Supply	カテゴリー I	120 L/人/日 (90%)	120 L/人/日 (100%)
無収水率 (%)	カテゴリー I	<25%	<15%
給水時間	カテゴリー I	24 時間	24 時間

出典：厚生労働省、平成 21 年度水道国際貢献推進調査報告書

ハイフォン市の水道の概要は、次の通りである。

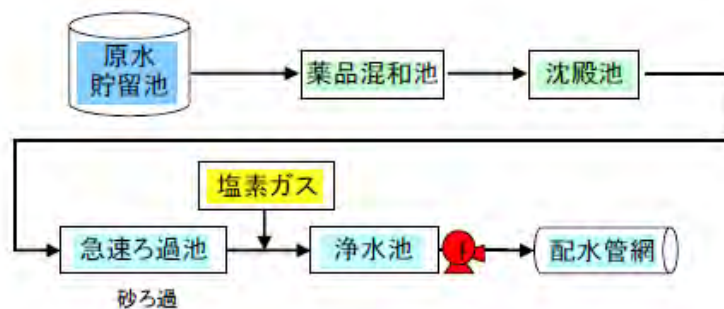
表 4.5.6 ハイフォン市の水道事業体の概要

調査対象地区	ハイフォン市		
水道事業体名	ハイフォン市水道有限公社		
年	2006	2007	2008
行政区域内人口	804,669	836,635	876,809
給水区域内人口	764,669	836,635	876,809
給水人口	658,248	700,352	795,096
水道普及率(%)	81.8	83.7	90.7
無収水率(%)	22.1	20.9	20.4
平均水道料金(VND/m ³)	3,842	3,882	3,897

出典：厚生労働省、平成 21 年度水道国際貢献推進調査報告書

(2) 浄水システム

ハイフォン市には 7 つの浄水場・給水区域があり、給水能力の合計は 12.5 万 m³/日である。市内で最大の浄化能力を示すアンズン浄水場の浄化システムは、下記の通りである。浄化能力は 100,000 m³/日であり、浄水汚泥は天日乾燥して場外搬出を行う。

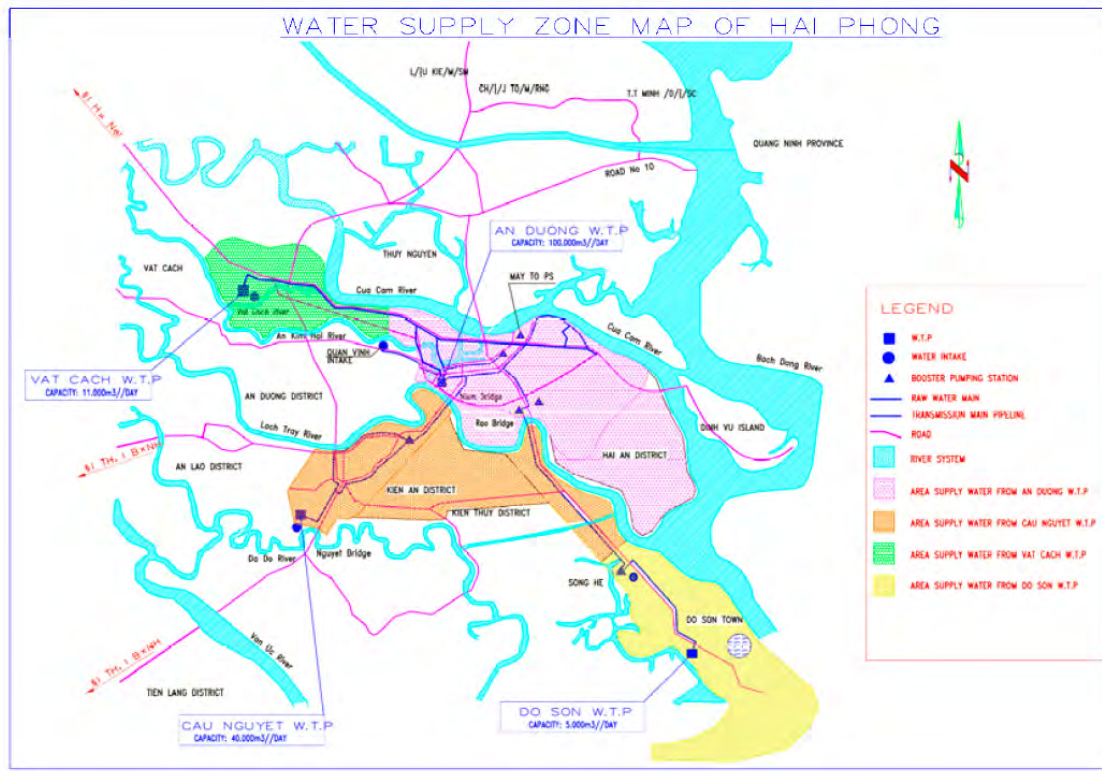


出典：厚生労働省、平成 21 年度水道国際貢献推進調査報告書

図 4.5.2 アンズン浄水場の浄化システム

(3) 給水システム

給水は、市の中心部を給水している上記のアンズン浄水場他 6 箇所の浄水場及び 6 ヶ所の中継ポンプ場を経由して行われる。配水管の延長は、約 2,000 km である。



出典：(株) 松尾設計、平成 23 年度水道分野海外ビジネス
官民連携型案件発掘形成事業（ベトナム等）調査報告書(2012 年 3 月)

図 4.5.3 給水区域図

(4) 下水道

ハイフォン市の下水道事業は、Sewerage and Drainage Company (SADCO)が、浄化槽を提供することで行われている。世界銀行が、サッキング・トラックを購入し、SADCO に提供し、SADCO が合流方式下水道に接続した全家庭を対象に、サービスを行っている。

浄化槽は 86,501 タンクあり、5 年ごとに無料で洗浄を行っている。マンホール数は、19,048 ヶ所である。

(5) 排水

ハイフォン市内の各所に設けられている調整池のため、現在 500mm 以下の雨では、洪水を起こさないようになっている。しかし 50~100mm の雨で冠水するホット・スポットが、市内に数ヶ所ある。Nguyen Binh Street (Dong Quoc Binh Ward People's Committee), Binh Dong Street, the T-junction, the former road No. 5 やその他の地域である。これらの地域の冠水深さは 15~20cm であるが、1~3 時間の間に完全に排水される。現在のハイフォン市の排水施設は下記の通りである。

表 4.5.7 ハイフォン市の排水システム

項目	数量
Regulating pond system	72.1 ha (11 ponds)

Canals and ditches of all types	57.6 km (6 canals)
Pump stations	2 storm water pump stations
	17 wastewater pump stations
Tide blocking sewers of all types	14
Sewer network	450 km
Gas pits of all types	19,048
Check valve at sluice gates to the lakes or rivers	157

出典：Seawun,Haiphong Wastewater Project

(6) 堤防

ハイフォン市には、24 線（全長 416.97km）の堤防が河川・海岸に沿って設けられている。

表 4.5.8 堤防延長

堤防レベル	延長 (km)
堤防レベル 2	105.881
堤防レベル 3	264.757
堤防レベル 4	46.332
合計	416.970

出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

(7) 土地利用

ハイフォン市の土地利用状況は、次の通りである。

表 4.5.9 土地利用状況 2010

No.	利用形態	面積(ha)	(%)
1	農用地（農地、森林、養殖等）	83,754	55.0
2	非農用地（公共施設、防衛地、工業団地、信仰施設等）	64,864	42.6
3	未利用地	3,720	2.4
合計		152,338	100.0
4	居住地	33,958	22.3
5	国家保護地域	5,000	3.3
6	観光地	19,894	13.1

出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

4.5.3 通信・情報

(1) 概要

ベトナムの固定通信事業者は、6社が参入し、固定電話サービスと IP 電話を含むインターネット・サービスを提供している。

表 4.5.10 ベトナムの固定通信事業者

系列	事業者名
郵政通信系列	ベトナム郵政通信総公社 (VNPT)
国家防衛省系列	ベトナム軍体通信総公社 (Viettel)

電力公社系列	EVN Telecom
政府系ジョイントベンチャー (JV)	サイゴンポステル (SPT)
	ハノイテレコム (Hanoi Telecom)
民間系列	FPT テレコム

出典：ハノイテレコムに聞くベトナム通信事情

携帯電話の事業者は、下記の6社がある。2011年6月の時点で、全国で約2,900万人がインターネットを利用している。

表 4.5.11 ベトナムの携帯電話事業者

系列	事業者名
VNPT 系列	VinaPhone : GSM/GPRS
	MobiFne : GSM/GPRS
ベトテル系列	Viettel Mobile: GSM/GPRS
EVN テレコム系列	VP Telecom : CDMA2000 1x
サイゴンポステル系列	S-Telecom (S-Fone) : CDMA2000 1x
ハノイテレコム系列	HT Mobile : CDMA2000 1x

出典：ハノイテレコムに聞くベトナム通信事情

(2) ハイフォン市の通信状況

ハイフォン市内には、2G と 3G タイプの無線基地局装置 (Base Transceiver Station: BTS)が1,800 基地局として設置されており、市内の全ての地域の無線通信をカバーしている。携帯電話の加入者は、プリペイドが150万人、ポストペイドが18万人となっている。それに対して固定電話の加入者は、25万人である。

固定インターネットの加入者は18万人で、移動インターネットの加入者は4万人である。インターネットは市内全域でカバーされている。

4.5.4 ガス

ハイフォン市内には、ガス施設はない。

4.5.5 廃棄物

(1) 管理体制

ハイフォン市の廃棄物の回収・輸送業務は、ハイフォン人民委員会 (HPPC)下の3社で実施されている。

表 4.5.12 廃棄物の管理体制

管理公社	対象区域
ハイフォン市環境公社 (URENCO)	Hong Bang, Le Chan, Ngo Quyen / 3 中心市街地
ケンアン公共事業公社	Kien An 市街区
ドーソン公共事業公社	Dong Son 区

出典：鹿島建設株式会社、ベトナム・都市ごみの3R促進・安定化処理事業調査 2008.3

(2) 回収状況

中心街区の廃棄物は、毎日ハンドカートにより戸別収集され、パッカー車により最終処分場に運ばれ、焼却処分される。分別収集はされておらず、混合状態で収集される。ハイフォン URENCO が所有する廃棄物運搬機材は、ハンドカート 700 台、トラック 5 台、パッカー車 40 台などである。

表 4.5.13 ハイフォン市の全体での廃棄物発生量

年	発生量（トン／日）	回収率（%）
2005	767	82
2010	1,104（推定値）	93
2020	1,496（推定値）	95

出典：鹿島建設株式会社、ベトナム・都市ごみの 3R 促進・安定化処理事業調査 2008.3

表 4.5.14 廃棄物内訳

種類	割合（%）
一般廃棄物	46
事業系廃棄物	29
ストリートごみ	12
産業廃棄物	10
医療廃棄物	1
建設廃棄物	2
合計	100

出典：鹿島建設株式会社、ベトナム・都市ごみの 3R 促進・安定化処理事業調査 2008.3

(3) 最終処分場

ハイフォン URENCO が管轄する最終処分場は、主なものとして Tran Cat 処分場（I、II）、Do Son 処理場および Dinh Vu 処理場の 3ヶ所がある。これらは埋立処分場であり、浸出水を集積し処理するための十分な施設を有していない。主な 2ヶ所の処分場を表 1.6.15 に示す。

表 4.5.15 主な最終処分場

項目	Tran Cat 処分場 区画 II	Dinh Vu 処分場
場所	市中心部から 11km	市中心部から 17km
面積	全体で 60ha（処理区 10ha）	全体で 30ha（処理区 6ha）
稼働年	2003 年	2004 年 10 月
廃棄物搬入量	日廃棄量：350 ton/day	250 ton/day
稼働時間	年 365 日	年 365 日
施設	浸出水処理装置あり	浸出水処理装置あり

出典：鹿島建設株式会社、ベトナム・都市ごみの 3R 促進・安定化処理事業調査 2008.3

4.5.6 学校

ハイフォン市内の学校は、下記の通りである。

表 4.5.16 ハイフォン市内の学校数

種類	数
University	4

College	16
Senior High School	175
Secondary School	350
Primary School	229
Kindergarten School	261

出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

4.5.7 病院

ハイフォン市内の病院は、下記の通りである。

表 4.5.17 病院

種類	数量
病院	17
地域のヘルスセンター	14
合計	31
ベッド数合計	5,626

出典：ローカルコンサルタント聞き取り調査

4.6 周辺地域及び日本との経済的つながり

4.6.1 対象地域の経済の概況

ベトナムでは、キャノン、ブラザー、ホンダ、ヤマハ、といった日本の機械、電機等の大手企業が、日系サプライヤーを引き連れる形で生産拠点を形成している。日本国内から必要な部材をベトナムへ輸入し、それをサプライヤーが加工し、大手企業へ納品し、組立加工で最終製品に仕上げるのが一般的な製造業における物品の流れである。現在、大手企業の多くは、調達コストの低減、リードタイムの短縮等を目的に、現地調達率を引き上げようとしている。この結果、現地サプライヤー（日系企業）の生産量の増加にもつながっている。

ベトナムの製造業の活動カテゴリに「輸出加工」があり、これは、輸入した部材を9か月以内に加工して輸出すれば、その部材の輸入関税の免税を受けられる優遇制度がある（当然ながら、この優遇制度を受ける場合には、完成品の国内出荷ができないようになっている）。この制度は、輸出加工区（EPZ: Export Processing Zone）と呼ばれ、一般に、雇用増大、技術移転等を目的として、外資企業にインセンティブを与えるために導入されている。

野村ハイフォン工業団地は、パイオニア、矢崎総業、トヨタ紡織等が拠点企業となっているが、いずれも「輸出加工」を中心とした生産活動を行っている。したがって、日本等から調達した部材を工業団地内で加工し、そのまま最終製品を（米国等の先進国等へ）輸出している場合が多い。これに対して、国内出荷の多い工業団地としては、タンロン工業団地（開発事業主：住友商事）等がある。

4.6.2 主要な経済政策

2011年1月に開催された第11回ベトナム共産党大会において、新しい第9次5カ年計画(2011～15年)が策定された。平均経済成長率を7～8%、輸出規模を平均12%増、財政赤字を2010年の対GDP比6.2%から4～5%に縮小、1人当たりGDPを2015年までに2,100ドル、といった目標が設定された。

4.6.3 日本との経済的なつながり

ベトナムの貿易相手国を見ると、近年、ASEAN・中国の比重が高まっている。また、米国への輸出も急増している。2009年(暫定値)の最大貿易相手国は、中国、米国、日本の上位3カ国で約4割を占めている。このほか、韓国、台湾、シンガポールなどのアジア勢が過半を占めている。

また、国別の外国直接投資額(FDI)(認可ベース)をみると、2010年12月の速報値では、国別内訳は、シンガポールを筆頭とし、オランダ、日本と続いている。

2011年末時点における承認済みのプロジェクト数及び外国直接投資額の国別データを以下に示す。2011年末時点までの累積でみると、日本(244億USドル)が最大となっており、韓国(237億USドル)、台湾(236億USドル)、シンガポール(230億USドル)と続いている。

表 4.6.1 外国直接投資額の国別データ

(Accumulation of projects having effect as of 31/12/2011)

Country	Number of projects		Total registered capital (Mill. USD)	
TOTAL	13,440	100%	199,078.9	100%
<i>Of which</i>				
Japan	1,555	11.6%	24,381.7	12.2%
Korea Rep. of	2,960	22.0%	23,695.9	11.9%
Taiwan	2,223	16.5%	23,638.5	11.9%
Singapore	1,008	7.5%	22,960.2	11.5%
British Virgin Islands	503	3.7%	15,456.0	7.8%
Hong Kong SAR (China)	658	4.9%	11,311.1	5.7%
Malaysia	398	3.0%	11,074.7	5.6%
United States	609	4.5%	10,431.6	5.2%
Cayman Islands	53	0.4%	7,501.8	3.8%
Thailand	274	2.0%	5,853.3	2.9%
Netherlands	160	1.2%	5,817.5	2.9%
Brunei	123	0.9%	4,844.1	2.4%
Canada	114	0.8%	4,666.2	2.3%
China, PR	833	6.2%	4,338.4	2.2%
France	343	2.6%	3,020.5	1.5%
Samoa	90	0.7%	2,989.8	1.5%
United Kingdom	152	1.1%	2,678.2	1.3%
Cyprus	11	0.1%	2,357.9	1.2%
Switzerland	87	0.6%	1,994.6	1.0%
Luxembourg	22	0.2%	1,498.8	0.8%
Australia	261	1.9%	1,316.9	0.7%
British West Indies	6	0.0%	987.0	0.5%
Fed. Russian	77	0.6%	919.1	0.5%

F.R Germany	177	1.3%	900.2	0.5%
Denmark	92	0.7%	621.5	0.3%
Finland	7	0.1%	335.4	0.2%
The Philippines	61	0.5%	302.3	0.2%
India	61	0.5%	233.8	0.1%
Mauritius	34	0.3%	229.2	0.1%
Indonesia	30	0.2%	219.7	0.1%
Bermuda	5	0.0%	211.6	0.1%
Italy	40	0.3%	191.9	0.1%
Slovakia	4	0.0%	147.9	0.1%
Cook Islands	3	0.0%	142.0	0.1%
United Arab Emirates	4	0.0%	128.4	0.1%
Chanel Islands	15	0.1%	114.4	0.1%
Bahama	3	0.0%	108.6	0.1%
Belgium	40	0.3%	106.7	0.1%
Norway	28	0.2%	102.4	0.1%
Poland	9	0.1%	98.7	0.0%
New Zealand	18	0.1%	76.4	0.0%
Sweden	28	0.2%	71.7	0.0%

出典: General Statistics Office of Vietnam

2011年末時点における承認済みのプロジェクト数及び外国直接投資額のセクター別データを以下に示す。2011年末時点までの累積で見ると、製造業（947億USドル）が半分程度を占め、最大となっている。次に、不動産業（482億USドル）が続いている。

表 4.6.2 承認済みのプロジェクト数及び外国直接投資額のセクター別データ

(Accumulation of projects having effect as of 31/12/2011)

Economic activity	Number of projects		Total registered capital (Mill. USD)	
TOTAL	13,440	100.0%	199,079	100.0%
Agriculture, forestry and fishing	495	3.7%	3,265	1.6%
Mining and quarrying	71	0.5%	3,016	1.5%
Manufacturing	7,661	57.0%	94,676	47.6%
Electricity, gas, steam and air conditioning supply	72	0.5%	7,392	3.7%
Water supply, sewerage, waste management and remediation activities	27	0.2%	2,402	1.2%
Construction	852	6.3%	10,324	5.2%
Wholesale and retail trade; Repair of motor vehicles and motorcycles	690	5.1%	2,119	1.1%
Transportation and storage	321	2.4%	3,257	1.6%
Accommodation and food service activities	319	2.4%	10,523	5.3%
Information and communication	736	5.5%	5,710	2.9%
Financial, banking and insurance activities	75	0.6%	1,322	0.7%
Real estate activities	377	2.8%	48,156	24.2%
Professional, scientific and technical activities	1,162	8.6%	976	0.5%
Administrative and support service activities	107	0.8%	188	0.1%
Education and training	154	1.1%	359	0.2%
Human health and social work activities	76	0.6%	1,082	0.5%

Arts, entertainment and recreation	131	1.0%	3,603	1.8%
Other activities	114	0.8%	712	0.4%

出典: General Statistics Office of Vietnam

2011 年末時点における承認済みのプロジェクト数及び外国直接投資額の省別データを以下に示す。2011 年末時点までの累積で見ると、地域別では、ホーチミンを含む南東部 (937 億 US ドル) が最大となっている。続いて、ハノイ及びハイフォンを含む紅河デルタ (474 億 US ドル) が大きくなっている。

表 4.6.3 承認済みのプロジェクト数及び外国直接投資額の省別データ

(Accumulation of projects having effect as of 31/12/2011)

Region/Province	Number of projects		Total registered capital (Mill. USD)	
WHOLE COUNTRY	13,440	100%	199,079	100%
<i>Red River Delta</i>	3,682	27.4%	47,443	23.8%
Hà Nội	2,253	16.8%	23,596	11.9%
Vĩnh Phúc	143	1.1%	2,274	1.1%
Bắc Ninh	251	1.9%	2,957	1.5%
Quảng Ninh	95	0.7%	3,794	1.9%
Hải Dương	253	1.9%	5,286	2.7%
Hải Phòng	338	2.5%	6,133	3.1%
Hưng Yên	214	1.6%	1,785	0.9%
Thái Bình	32	0.2%	254	0.1%
Hà Nam	42	0.3%	408	0.2%
Nam Định	38	0.3%	209	0.1%
Ninh Bình	23	0.2%	747	0.4%
<i>Northern midlands and mountain areas</i>	345	2.6%	2,857	1.4%
<i>North Central area and Central coastal area</i>	809	6.0%	41,458	20.8%
<i>Central Highlands</i>	135	1.0%	773	0.4%
<i>South East</i>	7,746	57.6%	93,694	47.1%
<i>Mekong River Delta</i>	678	5.0%	10,258	5.2%
Petroleum & Gas	45	0.3%	2,597	1.3%

出典: General Statistics Office of Vietnam

なお、今回のプロジェクト対象地となっている Hai Phong 市における承認済みのプロジェクト数及び外国直接投資額の国別データを以下に示す。

2011 年末時点までの累積で見ると、日本 (5,634 億 US ドル) が最大で突出している。次に、シンガポールが (226 億 US ドル) と続いている。

表 4.6.4 Hai Phong 市における承認済みのプロジェクト数及び外国直接投資額の国別データ

(As of 31/12/2011)

	Number of projects		Total registered capital (Mill. USD)	
Total	30	100%	611,655	100%
<i>Of which</i>				

Japan	10	33.3%	563,426	92.1%
Singapore	2	6.7%	22,600	3.7%
Hongkong	2	6.7%	8,400	1.4%
Taiwan	2	6.7%	3,584	0.6%
Korea	3	10.0%	2,200	0.4%
China	5	16.7%	2,200	0.4%
Holland	1	3.3%	715	0.1%
Thailand	1	3.3%	330	0.1%
Others	4	13.3%	8,200	1.3%

出典: Haiphong Statistical Yearbook 2011

同様に、今回のプロジェクト対象地となっている Hai Phong 市における承認済みのプロジェクト数及び外国直接投資額のセクター別データを以下に示す。

2011 年末時点までの累積で見ると、建設業（3210 億 US ドル）が件数は 1 件だけだが、最大となっている。次に、製造業が（2666 億 US ドル）と続いている。

表 4.6.5 Hai Phong 市における承認済みのプロジェクト数及び外国直接投資額のセクター別データ

(Accumulation of projects having effect as of 31/12/2011)

Economic activity	Number of projects		Total registered capital (Mill. USD)	
TOTAL	30	100.0%	611,655	100.0%
Manufacturing	22	73.3%	266,575	43.6%
Electricity and water supply				
Construction	1	3.3%	321,000	52.5%
Trade	5	16.7%	1,480	0.2%
Hotel and restaurant	1	3.3%	20,600	3.4%
Transportation and storage	1	3.3%	2,000	0.3%
Real estate; renting business activities				
Education and training				
Culture and sport				
Health				

出典: Haiphong Statistical Yearbook 2011

4.7 BCP の取り組みの現状

4.7.1 主な自然災害と防災意識

ベトナムでは、自然災害として、主に台風、洪水、高潮などが想定されている。農業・農村開発省（MARD）、商工省（MOIT）など関連する省庁において、自然災害対策、特に気候変動や海面上昇などを所管する部局が設置されており、企業防災に対して制度的な整備が取り組まれている。

自然災害に対して、特にハノイ・ハイフォンを中心とするベトナム北部地域においては企業活動に影響が出るほどの災害被災事例が少ないことから、ビジネスにおける災害リスクの認識は低く、企業防災の必要性があまり理解されていない。また、BCM/BCP に関しては、公営およ

び民間の企業だけでなく、地域の防災に携わる行政機関等においてもその概念は十分には周知されていない状況である。

BCM/BCP の概念について明確な定義が現状では示されていない。ベトナム商工会議所などにおいては BCM と Disaster Risk Management（DRM）を明確に区別せず、中小企業などに対して企業防災の取り組みと併せて災害時の事業継続を考慮するような支援が検討されている。

4.7.2 企業における BCP 等の取り組み

(1) 一般企業における BCP 等の取り組み

ベトナムにおいては、一般に企業の防災への取り組みは十分には進んでおらず、大多数の経営者において、企業活動における防災対策はあまり重視されていない。ベトナム北部地域では特に自然災害の被災経験も少なく、個々の企業においては災害リスクへの意識が低い。ハイフォンなどの工業地域に対しては特にその考えが強い。

一部の事例として、大規模企業や特に外国資本の企業などでは、災害リスクアセスメントの実施やリスクマネジメント体制の整備などが実施されているが、中小企業など多くの企業では防災計画、緊急対応計画なども検討されていないのが現状である。防災対策に関しては事前の防災計画のようなものはあまり整備されておらず、災害発生時の緊急対応に関する計画が主である。

(2) 社会インフラに関わる企業・行政機関における BCP 等の取り組み

石油、石炭・鉱物工業関連などの危険物を扱う企業および電力公社等のライフラインに関わる企業などについては、危機管理に関する緊急対応計画などが整備されている。特に、社会または環境へのリスクを有する企業に対しては、危機管理体制の整備は法令によっても規定されている。各企業の危機管理計画では、洪水・風水害時における対応および事業の早期復旧に関する方針などが示されているが、これらの企業・機関等においても BCP が計画として明示的に策定された事例は確認できない。

(3) 外資企業、日系企業における BCP 等の取り組み

海外資本の企業においても、BCM/BCP についての認知度はまだ高くはないが、本社や関連会社などのつながりから BCM への要求は徐々に高まっている。日本企業においても BCP への関心は高まっており、ベトナム日本商工会などでも所属企業に対して BCP の啓発に取り組まれている。

外資企業においても、一般的には風水害等の自然災害のリスクはあまり検討されていない。BCP に至っては、一部の大企業の支社・関連会社を除き、独自に BCP に取り組んでいる企業は非常に少ないと思われる。

4.7.3 BCPの普及に関する取り組み

(1) BCPの普及に関する規制、政府指針等

現在の法制度では、洪水、風水害に対する防災および緊急対応に関する対策委員会の活動を規定した政府令が制定されている。この政府令においては、災害時の被害評価、復旧・復興活動に対する民間セクターの協力の要請が規定されているが、企業防災計画の作成、BCMの整備などは法令によって明示的には定められていない。

ベトナムでは2014年より新たに災害対策基本法が施行される。新しい災害対策基本法では、すべての企業および組織に対して災害対策計画の策定を義務付けるなど、防災への取り組みの促進が定められている。ただし、緊急対応計画やBCPの作成は対象とされていない。

ベトナムにおいてこれまでの防災政策では人的な被害軽減に重点が置かれており、ビジネス的な対策は重視されてこなかったが、今後は災害リスクが経済成長や海外からの投資へもたす影響からもBCPへの要求が高まると考えられている。BCPに関するASEAN各国の政府関係者によるワークショップも開催されており、政府としてもBCPについて関心が高まっている。

(2) 民間におけるBCPの啓発・普及の取り組み

商工会などを中心に、民間セクターにおいても中小企業に対する防災対策の推進の取り組みが見られる。国際機関などの協力のもと企業防災セミナーなども開催されており、災害時における事業継続についても徐々に関心が払われるようになってきていると言える。ただし、現状ではBCP以前の災害等に対する緊急対応、事前対策などの整備がまず求められている段階である。

ベトナム商工会では中小企業を対象とした企業防災の推進に対する意欲が高く、企業CSRとしての災害対策の促進や、企業の防災対策に対する監査・認証システムの構築なども検討されている。

4.7.4 BCPの普及に関する課題

ベトナムでは行政、民間ともに企業の災害リスクに対する意識が低く、防災よりも経済発展・開発に重きが置かれており、現状としては、災害時の緊急対応体制や災害リスクマネジメント体制の整備が検討されている段階にある。

防災対策や災害リスクアセスメントに割けるリソースも不足しており、特に民間では、政府による社会インフラ整備（電気、水道、交通網など）が進まないため自助で対応出来る対策に限られており、防災計画やBCPの作成が難しいという意見が強い。

また、実践的な計画の策定やリスクアセスメントに関する技術・ノウハウなどが不足していることも問題となっている。

4.8 災害対策の現状

災害対策の現状を確認するために、ローカルコンサルタントにアンケート調査を依頼した。

4.8.1 アンケート調査

質問票は、広域 BCP に深く関わる 5 つの組織を対象として調査するために準備した。

アンケート調査は広域 BCP と BCP に関連して、現在何が行われているかについて分析すること、及び広域 BCP と、BCP の実施について受け入れ態勢がどのような状況にあるかについて分析することを目的としている。このアンケート調査の結果は、JICA の広域 BCP を構築するための枠組みを作るために利用される。

アンケート調査の焦点は以下のとおりである。

- ✓ ハイフォンにある 6 つの工業団地
- ✓ Nomura Hai Phong Industrial Zone に入居する 54 社で行われている災害対策
- ✓ ライフライン事業体の評価
- ✓ 交通インフラ事業体の評価
- ✓ 各レベルの政府機関によって実施されている災害対策

アンケート調査結果の要約は次のとおりである。

① アンケート回収率 (= 回収数/総数)

- 工業団地： 6/7 or 86%
- 企業： 46/77 or 60% (E-mail 及び電話インタビュー)
- ライフライン事業体： 4/4 or 100%
- 交通インフラ事業体： 4/5 or 80%
- 地方自治体： 3/4 or 75%

② 回収率が低かったことについてのコメントとその理由

工業団地

- ・ 質問票はハイフォンの 7 つの工業団地、Nomura, VSIP, Trang Due, Dinh Vu, Nam Cau Kien and Trang Cat. に配布された。
- ・ Trang Cat 以外はすべて回収した。同工業団地では、地鎮祭が行われたのみで事務所もなく、従業員もいないのでアンケートの回収は不可能であった。

企業

- ・ 54 社の質問票は、一括して Hai Phong Industrial Zone (NHIZ) のマネージメントに e-mail で送付し、各社に再配布された。
- ・ 回答のあったのは 23 社 (23/54)。17 社は回答しなかった (17/54)。他はコンタクトできなかった。

ライフライン事業体

- ・ 質問票は通信事業者、下水処理事業者、水供給事業者、電力供給事業者を含む、ライフライン事業体に送付された。
- ・ 全社が回答した。

交通インフラ事業体

- ・ 質問票はハイフォン駅、ハイフォン港、Cat Bi 空港、ハイフォン交通局・交通企業協会に送付された。業務が質問票の内容と関係しないことを理由に、ハイフォン交通企業協会からは回答を得られなかった。

地方自治体

- ・ 質問票は、Department of Dyke and Flood and Storm Management、Department of Transport、Department of Industry and Trade、Department of Information & Communication 及び Department of Planning and Investment に送付された。
- ・ 全て回答を得た。
- ・ Flood and Storm Management and Search and Rescue の Steering Committee は、ハイフォン市の災害対策全体を担当する組織であったが、一時的な組織である。一方 Steering Committee の事務局長は Department of Dyke and Flood and Storm Management の取締役を兼務していたので、彼に質問票を渡し両者の考えを一つにまとめた回答を依頼した。
- ・ Department of Planning and Investment は、業務が質問票の内容と関係しないことを理由に回答をしなかった。

Department of Industry and Trade は交通インフラに深く関わる組織であったので、その回答は交通インフラ事業体に含めて集計した。

4.8.2 工業団地のアンケート調査結果

回答者のリストは以下のとおりである。

- Nomura
- VSIP
- Trang Due
- Dinh Vu
- Nam Cau Kien
- Do Son

工業団地へのアンケート調査の結果は次のとおりである。

- 1) ライフライン事業体のサービス停止と、その理由は以下のとおり要約される

電力供給

Nomura Hai Phong Industrial Zone (NHIZ) への電力供給は EVN ハイフォンが行う。2010 年は 12 回停電があったが、2011 年以降は現在まで停電していない。停電の長さは平均で 45 分間

であった。通常はEVNの変電所に問題があって停電するが、NHIZのバックアップ電源があるのでテナントへの電力の供給は止まっていない。

水供給

NHIZによれば、市から供給される水は年に何度か停止するが いずれも短時間であり、テナントの操業には影響しないとのことである。給水の停止はパイプラインの損傷によるものである。NHIZは団地内の水供給システムが4時間ほど止まったと言っている。

下水処理

NHIZによれば、下水処理の停止はないとのことである。4つの工業団地のうちの一つでも、同様に下水処理の停止はないと言っている。他の工業団地は下水処理についてコメントがなかった。

通信

NHIZの記録によれば、電話回線の停止はないとのことである。

都市ガス

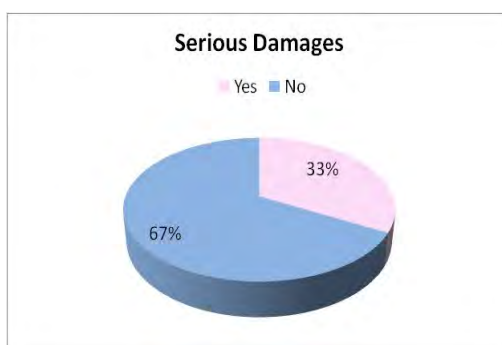
都市ガスはない。

2) 道路、その他の交通インフラ事業者の受けた自然災害の被害は以下のように要約される

- 工業団地に直接接続する道路が、すべてが同時に洪水にあったという経験は、全ての回答者が皆無であると言っている。



- 自然災害が起きた場合、工業団地で重大な被害を受けたことがあるかという質問に、33%は「Yes」と答え、67%は「No」と答えている。工業団地内の被害として、洪水があり、樹木が倒壊して道路を覆うことがあった。



3) 自然災害における事業の継続についての調査結果は以下のとおりである。

- 自然災害や事故があった場合の事業継続の困難さに関しては、停電、道路へのアクセスが制限されることが主たる懸念事項であるとのことである。災害時の従業員の確保には全く問題がないとのことである。



4) 災害対策についての主たる要望事項

- 地方自治体、ライフライン事業者または交通インフラ事業者に対する要望事項としては、サービスの質の向上、インフラの改善が焦点である。

4.8.3 企業のアンケート調査結果

Nomura Hai Phong (NHIZ)におけるテナント企業の回答者は下表に示すとおりである。

表 4.8.1 NHIZ の入居者

No.	Name of locators/ business firm
1	Synztec Vietnam
2	Tetsugen Vietnam
3	Tohoku Pioneer Vietnam
4	Toyota Boshoku Hai Phong
5	Vietnam Arai Co. Ltd
6	Vina-Bingo Co. Ltd.
7	Yanagawa Seiko Vietnam
8	Yoneda Vietnam
9	Johuku Hai Phong
10	PV Hai Phong
11	Korg Vietnam
12	EBA Machinery
13	Fuji Mold Vietnam
14	Fuji Seiko Vietnam
15	Toyoda Gossei Hai Phong
16	Iko Thompson Vietnam
17	Lihit Lab Vietnam Inc.
18	Nichias Hai Phong
19	Nishishiba Vietnam
20	Sougou Vietnam
21	Sumibubber Vietnam
22	Yazaki Hai Phong
23	Kokuyo Vietnam Co. Ltd.
出典: VIETBID (Local Consultant in Vietnam)	

NHIZ におけるテナント企業のアンケート調査の結果は次のとおりである。

1) ライフライン事業体のサービス停止とその理由について以下のように取りまとめた。

- ライフライン事業体のサービス停止

無回答

- 道路その他の通常の交通インフラ事業体

大部分の回答者は、通常の交通インフラとして国道 5 号線、ハイフォン港、Noi Bai 空港を使用している。Cat Bi 空港もまた良く使われる空港である。鉄道を最優先して選択した企業が 1 社あった。

- 交通インフラの代替

代替道路についてのコメントは皆無であったが、ハイフォン港の代替としてハイフォン及びその近くの港をあげる企業は多かった。

鉄道は通常のロジスティック機能を持っているようには見受けられなかったが、50%は代替手段として選択している。

2) 災害対策、BCP とその問題点

回答者の半分は災害対策、BCP に関して、長期計画、1 年計画のいずれも立てていない。天気予報の注意を頼りに、災害が起きる直前にケースバイケースで、対策を練るのみである。災害の実被害を受けてから、初めて復旧の計画を作るというのが実情である。



BCP に関しては、13%は No ではなく NA と回答しているが、彼らは、BCP は災害対策のなかで不可欠なものと考えているか、あるいは反対に災害対策は BCP のために策定するものであると考えているようだ。事実、彼らは災害対策計画を準備していないので、自分たちの組織では BCP を持つことができないと考えているとみるべきである。



BCP の取り組みに関する困難さと懸念事項は、多種多彩であるが、人材確保ができないこと、インフラサービスの停止が避けられないということをあげている事実には注目すべきで

ある。ある企業は、インフラサービスが停止するために物資の供給が途絶えることを心配している。

NA、No、No idea という回答が多いのは、48%が災害対策計画も BCP も策定しないということに基づく。

3) 災害対策に関する要望について

多くの回答者は要望をあげていない。

あげられた要望は多種多彩であるが、より効果的な災害対策と、地方自治体及びインフラ事業者の迅速な行動を望んでいる。

4.8.4 ライフラインの事業者のアンケート調査結果

回答者のリストは以下のとおりである。

- VNPT Hai Phong
- Hai Phong Sewage Company
- Hai Phong Water Supply
- Hai Phong Power company (PC Hai Phong or EVN Hai Phong)

ライフライン事業者へのアンケート調査の結果は次のとおりである。

1) 災害対策計画の対象となる災害

- 水供給事業者：洪水、台風、水資源の汚染
- 下水処理事業者：地震、洪水、台風、高潮
- 電力供給事業者：洪水、台風、高潮
- 通信事業者：地震、洪水、台風、高潮

2) 緊急時サービス

- 電力：水供給事業者を除き、他の全ての回答者は、停電時の非常用電源として自家発電機を持っていると回答している。
- 通信：全ての回答者は、非常用の通信手段を持っていると回答している。

3) サービス停止とその原因

- 水供給事業者：操業の停止はない。
- 下水処理事業者：操業の停止はない。
- 電力供給事業者：台風、竜巻の時、広範囲で停電した。
 - 2011年6月25日台風2号、7月30日台風3号、9月30日台風5号
 - 2012年5号、8号
 - 2013年5号

停電の理由は強風と洪水である。ほとんどの場合、停電があってから短時間で復旧している。時には復旧まで24時間、48時間を要することもあった。
- 通信事業者：台風の時にとまったことがある。
 - 2012年8号では強風と豪雨でとまった。

停止は長時間にわたることは無かったし、広範囲にわたることもなかった。ケーブル通信による村に限定されたものであった。携帯電話回線は確保されていたので産業への影響はなかった。

4) 災害対策に関する要望

地方自治体に対する要望

- 水供給事業者
 - 洪水の被害に備えポンプステーション等のインフラを整備すべきである。
- 下水処理事業者：
 - ポンプステーションの追加設置が必要である。
- 電力供給事業者
 - 無回答
- 通信事業者
 - 高潮、高波を防ぐために、堤防を増強する必要がある。

ライフライン事業者に対する要望

- 水供給事業者
 - 洪水の被害に備えポンプステーション等のインフラを整備すべきである。
 - 台風時の高潮、高波を防ぐために、堤防を築く必要がある。
 - 1週間24時間の電力供給を保証してほしい。
- 下水処理事業者：
 - ポンプステーション向けの電力は24時間継続してほしい。
- 電力供給事業者
 - 無回答
- 通信事業者
 - 送配電線の稼働確保。
 - 台風、豪雨の際の電力供給能力を増強してほしい。
 - 送電線、電力供給のルートレイアウトを適正に。
 - 同時に広域にわたる停電は避けてほしい。
 - 樹木の倒壊により通信回線が壊れた場合の早期復旧。

交通インフラ事業者

- 水供給事業者
 - 道路の掘削、舗装の許可を速やかに。許可が早ければ、壊れた水道管の補修を早期にでき、水の供給回復が可能となる。
- 下水処理事業者
 - 無回答
- 電力供給事業者
 - 無回答
- 通信事業者
 - 洪水の際の旅客輸送の安全確保
 - 樹木倒壊による交通渋滞に対する早期の対応

4.8.5 交通インフラ事業者のアンケート調査結果

回答者のリストは以下のとおりである。

- Hai Phong Railway Station
- Hai Phong Port

- Cat Bi Airport
- Hai Phong Department of Transport

交通インフラ事業者へのアンケート調査の結果は次のとおりである。

- 1) 災害対策計画の対象となる災害
 - 道路事業者：地震、洪水、台風
 - 港湾事業者：地震、洪水、台風、竜巻、豪雨、川の氾濫
 - 空港事業者：台風
 - 鉄道事業者：地震、洪水、台風、高潮、テロ
- 2) 緊急時サービス
 - 電力：鉄道事業者を除き、他の全ての回答者は、停電時の非常用電源として自家発電機を持っていると回答している。
 - 通信：全ての回答者は、非常用の通信手段を持っていると回答している。
- 3) サービス停止とその原因
 - 道路事業者：2013年の第5号台風の際はDOTの建物の1回に床上浸水があり業務が中断した。高潮のために浸水は2日間続いた。
 - 港湾事業者：操業の停止はない。
 - 空港事業者：操業の停止はない。
 - 鉄道事業者：下記の災害で停止した。
 - 2012年8月18日の台風5号
 - 理由：ハイフォンとスオングリー間でレールの上に木が倒れ停止した。
 - 期間：2012年8月18日 0.40 am ~ 2.50 am
 - 2012年10月28~29日の台風
 - 理由：ハイフォンとスオングリー間でレールの上に木が倒れ停止した。
 - 期間：2012年10月29日 2.15 am ~ 7.20 am
 - The 2013年6月29~30日の大雨
 - 災害：降水量200 mm、降雨時間10時間
 - 理由：ハイフォン駅の大浸水
 - 期間：2013年6月30日 3.00 am ~ 7.30 am
- 4) 災害対策に関する要望

地方自治体に対する要望

- 道路事業者 Road operator:
 - 構内の地面及び事務所建物1階の床かさ上げの資金
 - 地球温暖化対策の投資
- 港湾事業者：
 - 無回答
- 空港事業者
 - 災害復旧のためのマンパワー確保及び技術的な機材設置のための支援
- 鉄道事業者
 - ハイフォン駅の早期復旧のための更なる活動と支援

ライフライン事業者に対する要望

- 道路事業者
 - 通信回線、配電線の埋設
- 港湾事業者：
 - 無回答
- 空港事業者
 - Cat Bi 空港及び他の企業の災害復旧活動を実現するために、サービスの停止をしないこと。
- 鉄道事業者
 - 周辺の災害か所及び電力供給の早期復旧

交通インフラ事業者

- 道路事業者
 - 自然災害が起きた場合の地方自治体とライフライン事業者間の協力に関する法規制の確立
- 港湾事業者：
 - 無回答
- 空港事業者
 - 災害発生時の乗客輸送に対する迅速な支援とアクション
- 鉄道事業者
 - 自然災害によって鉄道の交通渋滞がおきた場合の、バス、トラックのような他の交通インフラとの協力。乗客、貨物の代替輸送が可能となる。

4.8.6 地方自治体のアンケート調査結果

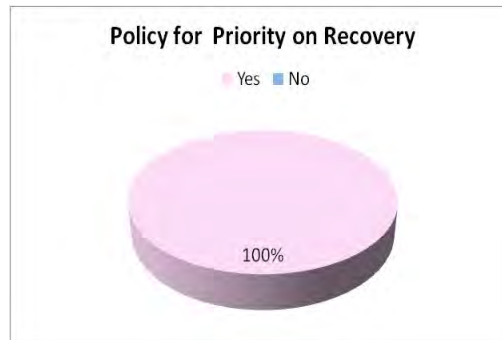
回答者のリストは次のとおりである。

- Steering Committee for Flood and Storm Management and Search and Rescue of the city/ Hai Phong Department of Dyke and Flood and Storm Management
- Hai Phong Department of Industry and Trade
- Hai Phong Department of Information & Communication

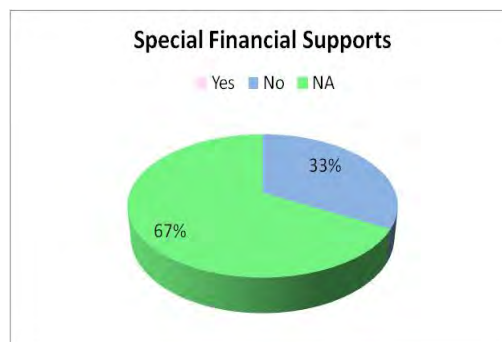
アンケート調査の結果は以下のとおりである。

- 1) 災害対策計画の対象となる災害
いずれの回答者も、洪水、台風、高潮、津波について、災害対策の対象であると答えている。地震をあげているのは3分の2である。竜巻、熱帯低気圧及び油の流出も対象とされている。
- 2) 被害予想の対象となる代表的な災害
上記と同様に、地震、洪水、台風、高潮、及び、熱帯低気圧、津波、竜巻等が、被害予想の対象となっている。
- 3) 住民向けの災害対策
 - 起こり得る自然災害の防ぎ方・被害軽減に関する教育・意識改革を行う・・・1
 - 自然災害を被災した地域の危険区域に警報をする・・・1
 - 住民を避難させ住宅を守る・・・3
 - 臨時の避難小屋・トイレを支給する・・・3

- 行方不明者の捜索と救助・・・1
 - 被災世帯への資金援助・・・1
- 4) ライフラインサービス・交通インフラの被災に関する企業向けの災害対策
全ての回答者は、企業向けのライフラインサービス・交通インフラに関する復旧は優先的に行うと回答している。



- 5) 被災時の資金援助
災害からの復旧のための企業向けの資金援助は、中央政府、政府関連組織から行われることはない、というのが調査結果である。



- 6) 自然災害の被害を受けた地方自治体の業務への影響
地方自治体の業務が停止したという記録は、唯一、被災してインフラサービスが停止したために起きたというものである。
- 7) 危険・リスクに関する情報公開
回答者によれば、死者、負傷者、インフラ・生産工場・商品流通等が損傷した場合には、情報公開が行われるとのことである。
- 8) 災害対策に関する要望事項

地方自治体に対する要望

- 回答者の3分の2は、捜索・救助にはもっと力を入れてほしい、もっと十分な資機材を保有して業務に当たってほしいと望んでいる。
- 更なる投資、予算増額についても強い要望がある。

ライフライン事業サービスに対する要望

- 地方自治体は、災害からの普及について他のサービス同様にライフライン事業体には、サービスの質の向上、より早い対応を望んでいる。地方自治体が非常時のオペレーションをするためには、特に、電力供給を継続してほしい。

- スタッフ・作業員向けの恒常的なトレーニングを強く望んでいる。

交通インフラ事業者に対する要望

- 回答者の 50%は、地方自治体のサービス継続に、交通インフラ事業者の効果的で迅速な災害復旧に十分に備えてほしいと望んでいる。
- 50%は要望について特に上げていない。

Appendix 自然災害アセスメントの詳細

A.1 地震災害のアセスメント

地震動のシミュレーションの考え方は、決定論的方法と確率論的方法に大きく分けて考えることができる。決定論的方法は、特定の震源断層を仮定し、断層が活動した場合の地震動を計算する考え方である。将来発生する地震による地震動分布を詳細に計算することができるが、震源断層がいつ活動するかを精度よく推測することは現在の科学では困難なため、計算された地震動がいつ発生するのかわからない。確率論的方法は、計算対象地点周辺の想定される震源をすべて考慮し、各震源での地震発生確率を考慮したうえで、対象地点でのある一定期間の間に期待される地震動を計算する考え方である。したがって、この方法で得られる地震動分布は、将来発生する地震による地震動分布の予測ではなく、各地点での期待値を連ねたものである。決定論的方法は、地震防災分野で使われることが多く、確率論的方法は、建築基準のための地域区分のためなどに用いられることが多い。

広域 BCP のための地震動シミュレーションとしては、確率論的方法を採用した。これは、広域 BCP で検討対象とする災害は、施設、設備等の償却期間内において発生する可能性の高い災害であり、災害の確率を評価できることが重要となるためである。

A.1.1 確率論的地震動計算の手法

(1) 概要

確率論的地震動評価とは、ある地点における地震動の強さと、一定の期間内にその強さ以上の地震動を経験する確率の関係を算定するものである。解析の流れを図 A.1.1 に示す。

大まかな手順は以下ようになる。

- 1) 対象地点周辺の地震活動をモデル化する。モデル化する対象は、断層やプレート境界などの震源がはっきりしている地震のほか、震源をあらかじめ特定できない地震（背景地震）も、モデル化する。
- 2) モデル化した地震について、地震の規模の確率、対象地点からの距離の確率、地震の発生確率を評価する。
- 3) 地震の規模と距離が与えられた場合の地震動の強さを推定するための確率モデルを設定する。通常は距離減衰式とそのばらつきが用いられる。
- 4) モデル化された個々の地震について、一定の期間内にその地震によって地震動の強さがある値を超える確率を評価する。
- 5) 1)~4)をモデル化したすべての地震に対して行い、これらを加え合わせてすべての地震を考慮した場合の地震動の大きさが、一定の期間内に少なくとも 1 回ある値を超える確率を算定する。

確率論的地震動評価に関する教科書としては、McGuire, R. K. (2004)¹⁾があげられる。

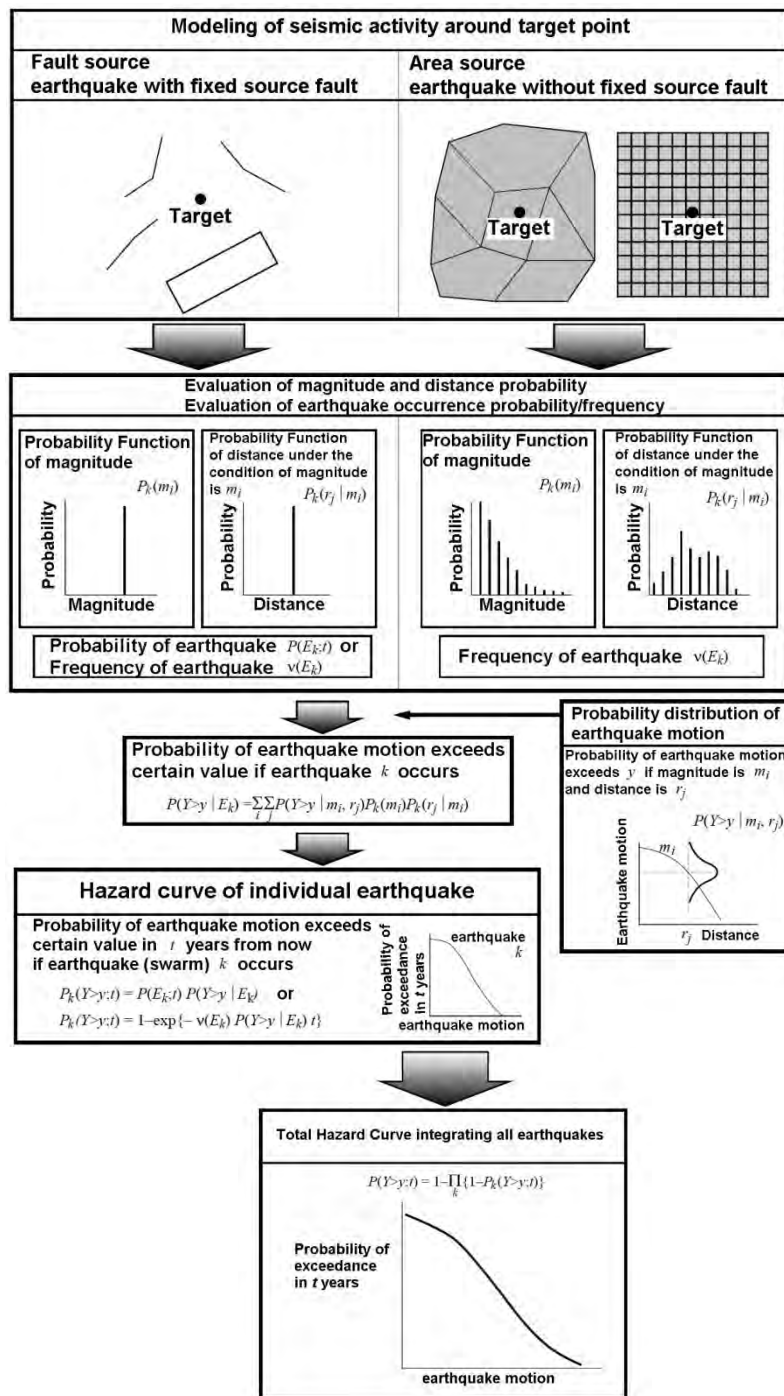


図 A.1.1 確率論的地震動評価の流れ (防災科学技術研究所(2005)²⁾ を改変)

(2) プログラム

確率論的な地震動の評価には複雑な計算を伴う。このため、多くの解析ソフトが開発され、いくつかは無償で入手可能である。比較的有名なものには、SEISRISK, FRISK, CRISIS, NSHMP, OpenSHA などがあるが、これらは研究者あるいは専門知識を持った技術者が使うことを想定したソフトである。確率論的地震動計算ソフトに関しては、Danciu et al. (2010)³⁾に詳細な情報がまとめ

られている。表 A.1.1 は Danciu et al. (2000)による、主な確率論的地震動解析ソフトの一般情報である。

表 A.1.1 主な確率論的地震動解析ソフト

Software Name	Version	Developer	Availability	Documentation	GUI	Program Language
CRISIS	6.0 (2007)	Ordaz, M., et al	Free upon Request	User Manual	Yes	Visual Basic
EQRM	3.2 (2009)	Robinson, D. et al.	Open Source	User Manual	No	Python
FRISK88M	1.8	R. McGuire	Proprietary	User Manual	No	Fortran
MoCaHAZ	2004	S. Wiemer	Free upon Request	Self-Explained	No	MATLAB
MRS	3.0	R. Laforge	Free upon Request	User Manual	No	C
NSHMP	2008	Frankel et al.	Free-Download	Self-Explained	No	Fortran, C
OHAZ	2.1	B. Zabikovic	Free upon Request	User Manual	Yes	Java
OpenSHA	2009	E. H. Field et al.	Open Source	Self-Explained	No	Java
SEISRISK IIIM	1996	Bender, B. Perkins, D.M. R. LaForge	Free-Download	User Manual	No	Fortran
SeisHaz	2005	M. Stirling et al	Proprietary	Self-Explained	No	Fortran

Risk Engineering Inc.が提供している EZ-FRISK は、FRISK の発展型の商用ソフトで、後述の震源モデル、距離減衰式と共に提供されているため、比較的容易に解析が可能である。本調査では、EZ-FRISK Ver.7.62 を用いて解析を行った。

(3) 震源モデル

震源モデルとしては、対象地点の周囲数 100km 内の地震活動をすべてモデル化する必要がある。地震は断層運動によって発生するものなので、まず活断層をモデル化する。しかしすべての断層の性質が明らかになっているわけではないため、地震カタログなどをもとに、ある広がりを持った地域で発生する地震活動をモデル化し、両者を合わせて震源モデルとする。このような震源モデルの設定は、高度な専門的知識と能力が必要な作業であり、大学や公的研究機関によって実施されている。したがって、独自に新たな解析を行うためには、これらの機関から震源モデルを入手する必要がある。

前述のように、EZ-FRISK は震源モデルもソフトと一緒に提供されているため、本調査ではこれを用いている。

(4) 距離減衰式

地震の規模と対象地点からの距離から地震動の強さを計算するためには、いわゆる距離減衰式が用いられる。距離減衰式は、多種多様な式が多くの研究者によって、過去数 10 年にわたって提案され続けている。それらは、式を用いる際に用いたデータ、式を用いる際に使用したアルゴリ

ズムなどによって1つ1つ特徴があり、適用限界がある。距離減衰式の選定にあたっては、対象とする地域を対象として作成された式を採用することが望ましい。一般的には新しく提案された距離減衰式のほうがより精度が高い最近地震観測結果に基づいていることが多いため、より望ましい。

ASEAN 地域を対象として提案された距離減衰式は存在しないため、本調査では、世界中の地震をデータとして用いて作成された、以下の式を用いた。

「地殻内の浅い地震」

- Abrahamson and Silva (2008)⁴⁾
- Boore and Atkinson (2008)⁵⁾
- Campbell and Bozorgnia (2008)⁶⁾
- Chiou and Youngs (2008)⁷⁾

「プレート境界の深い地震」

- Atkinson and Boore (2003)⁸⁾
- Youngs et al. (1997)⁹⁾

A.1.2 表層地盤の増幅特性評価

(1) 概要

地震の揺れの大きさは、地震の規模と震源からの距離だけではなく、対象地点の地盤によっても異なる。これは地震波が表層地盤によって増幅され、その増幅の程度が表層地盤の構成によって違うためである。上記距離減衰式にも表層地盤の違いを考慮できる式があるが、広い範囲の地震動分布を評価する場合は、距離減衰式で岩盤上での地震動分布を算定し、これに表層地盤の増幅特性を加えて地表での地震動を評価する手法が一般的である。

表層地盤による増幅特性を評価する手法としては、表層の地質によって評価する方法、地表付近の平均 S 波速度を使って評価する方法、地盤の数値モデルを構築して解析的に評価する方法などがある。これらから、入手できる資料の有無、解析に用いる労力と費用などによって選択される。

本調査では、インドネシアとベトナムに関しては表層の地質によって評価する方法、フィリピンに関しては表層地質に加えて地表付近の平均 S 波速度を使って評価する方法を用いた。

(2) 地盤分類と増幅特性

地盤分類と増幅特性は、FEMA (1995)¹⁰⁾に従った（表 A.1.2、表 A.1.3 参照）。この地盤分類と増幅特性はアメリカ合衆国で開発されたものだが、現在では世界各地で広く用いられている。地盤分類のためのパラメータとしては地質、平均 S 波速度、N 値などが定義されている。

ベトナムでは、地質図を入手し、地質年代から以下のように判定した。

- 第3紀およびこれより以前のもの：Class B

- 洪積地盤：Class C
- 沖積地盤：Class D
- 沖積地盤のうち、河川堆積層および海岸堆積物：Class E

表 A.1.2 NEHRP 地盤分類

Site Class	Profile	Average S-wave velocity of the upper 30 meters	N value
A	Hard rock	>1500 m/sec	
B	Rock	$1500 \geq V_s > 760$ m/sec	
C	Very dense soil and soft rock	$760 \geq V_s > 360$ m/sec	$N > 50$
D	Stiff soil	$360 \geq V_s > 180$ m/sec	$50 \geq N \geq 15$
E	Soil	$180 \text{ m/sec} \geq V_s$	$15 > N$

表 A.1.3 NEHRP による増幅係数

Site Class B Spectral Acceleration	Site Class				
	A	B	C	D	E
Short-Period, S_{AS} (g)	Short-Period Amplification Factor, F_A				
≤ 0.25	0.8	1.0	1.2	1.6	2.5
0.50	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7
0.75	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2
1.0	0.8	1.0	1.0	1.1	0.9
≥ 1.25	0.8	1.0	1.0	1.0	0.9

A.1.3 結果の表現

(1) 結果の表現方法

確率論的解析によって得られる地震動は、以下のように表現される。

- a) ある地震動の強さを定めた時に、対象地点が経験する確率

例：100gal 以上の地震動を経験する確率は、50 年間で 10% である。

- b) ある確率を与えた場合に、対象地点が経験する地震動の強さ

例：50 年間に 10% の確率で、100gal 以上の地震動を経験する。

確率の表現は、期間とその間での確率の組み合わせで表現されるが、年ごとの地震活動度が一定と仮定すれば、年超過確率(1 年間あたりの確率)で表現することもできる。

本調査では、b) の表現で地震動分布を表現した。表現された地震動は、各地点でのある確率に対応した地震動を連ねたものなので、実際にどれかの断層が活動した場合の地震動分布ではないことに注意を要する。

(2) 震度

解析によって得られる地震動は、最大加速度や最大速度など物理量である。一方、地震動の表現方法としては、震度のほうが一般的に理解されやすい表現である。また、過去の災害事例から被害を推定する際にも、震度は広く用いられている。今回の解析では最大加速度を計算したため、Trifunac and Brady (1975)¹¹⁾の経験式を用いて MMI 震度に変換した。

$$\log \text{PGA} = 0.014 + 0.30 * I \quad \text{PGA: 加速度(gal), I: MMI 震度}$$

A.1.4 解析と結果

(1) 震源モデル

図 A.1.2 にベトナムの震源モデルを示した。プレート境界に沿う震源モデルの地表投影が矩形で表現され、内陸の活断層が折れ線で示されている。このほかに震源を特定できない地震活動は大きな震源域としてモデル化されている。

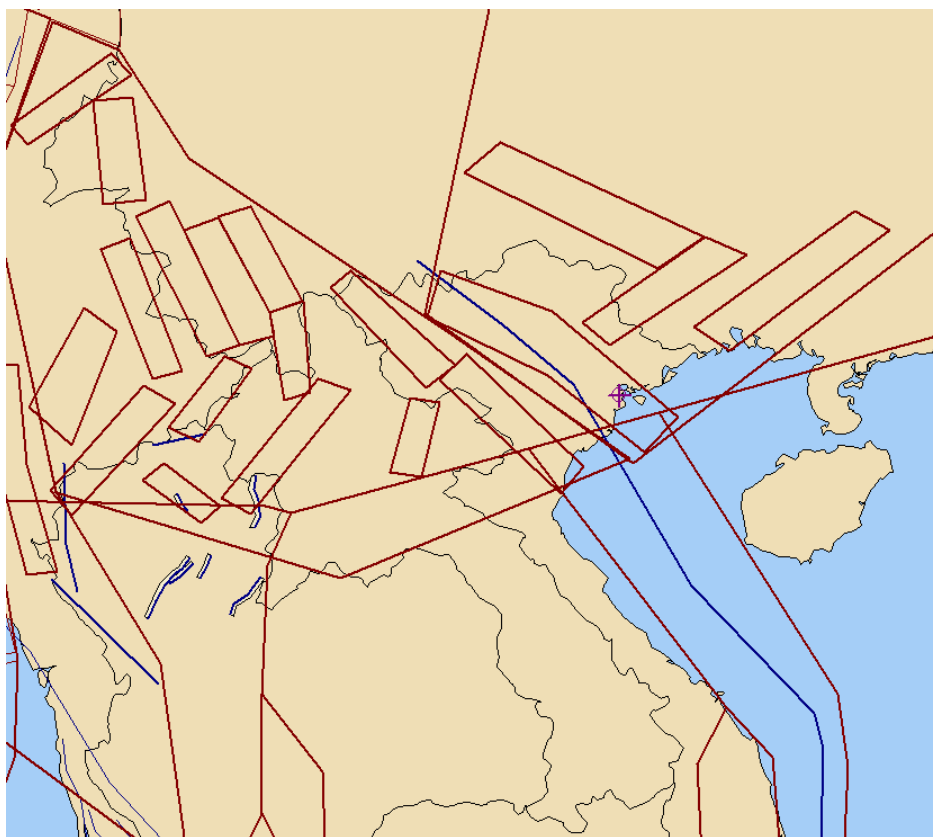


図 A.1.2 ベトナムの震源モデル

(2) 基盤地震動

図 A.1.3～図 A.1.6 に、 $V_s=760\text{m/sec}$ 相当の岩盤上における加速度分布を示した。想定した確率は 50 年、100 年、200 年、500 年の期間内での 1 回以上の確率（50 年、100 年、200 年、500 年期待値）である。基盤地震動は、南へ行くほど大きな値を示している。

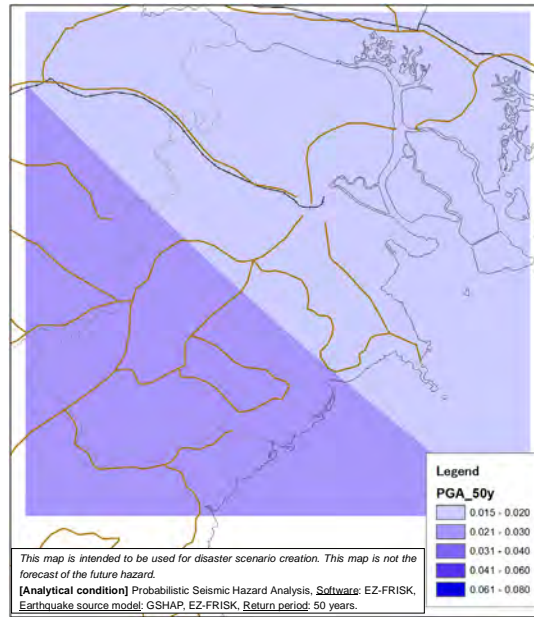


図 A.1.3 基盤地震動分布（50 年期待値、単位：g）

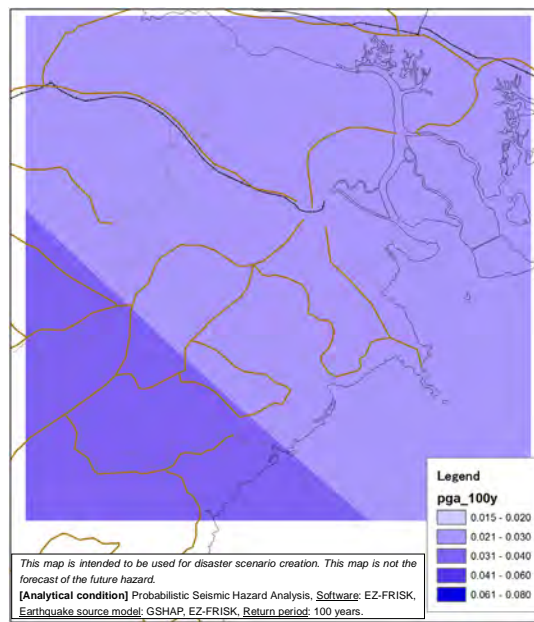


図 A.1.4 基盤地震動分布（100 年期待値、単位：g）

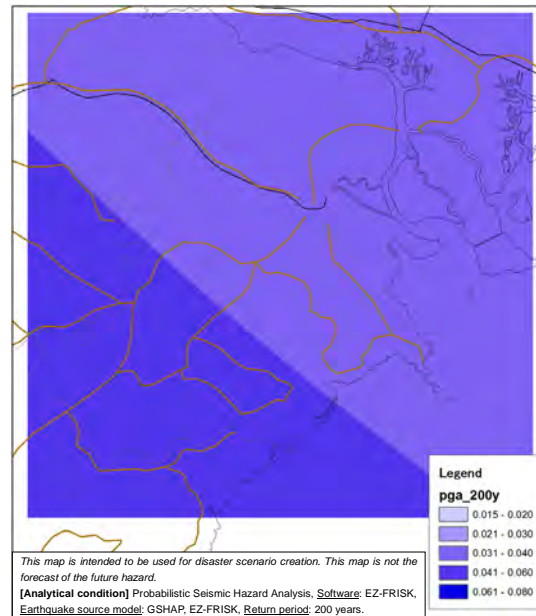


図 A.1.5 基盤地震動分布（200年期待値、単位：g）

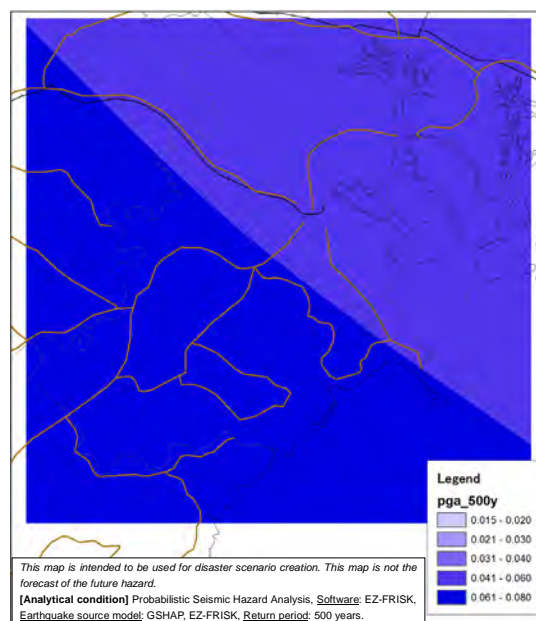


図 A.1.6 基盤地震動分布（500年期待値、単位：g）

(3) 地盤分類

地球物理研究所(IGP)の研究者である Dr. Phuong から提供された、デジタルの地質図を用いて、地質年代から NEHRP 地盤分類に従って評価した。図 A.1.7 に地盤分類図を示す。

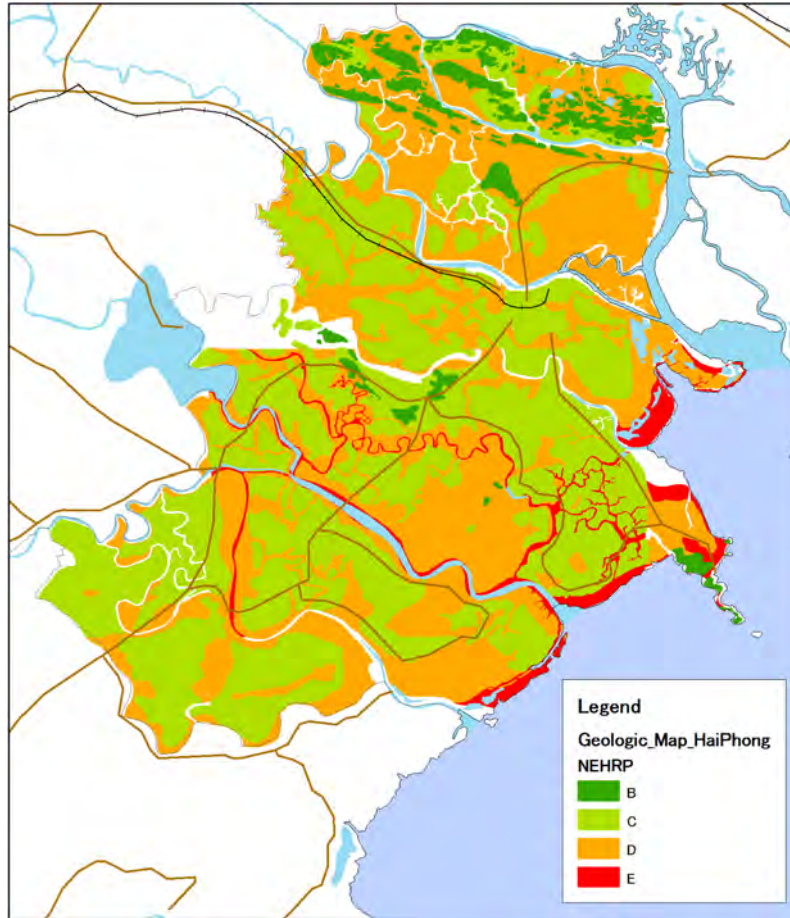


図 A.1.7 地盤分類

(4) 地表地震動

基盤加速度に表層地盤による増幅度をかけて地表加速度を算定し、図 A.1.8～図 A.1.11 に示した。さらに経験式を用いて MMI 震度に換算した結果を図 A.1.12～図 A.1.15 に示した。



図 A.1.8 地表での加速度分布（50 年期待値、単位：g）

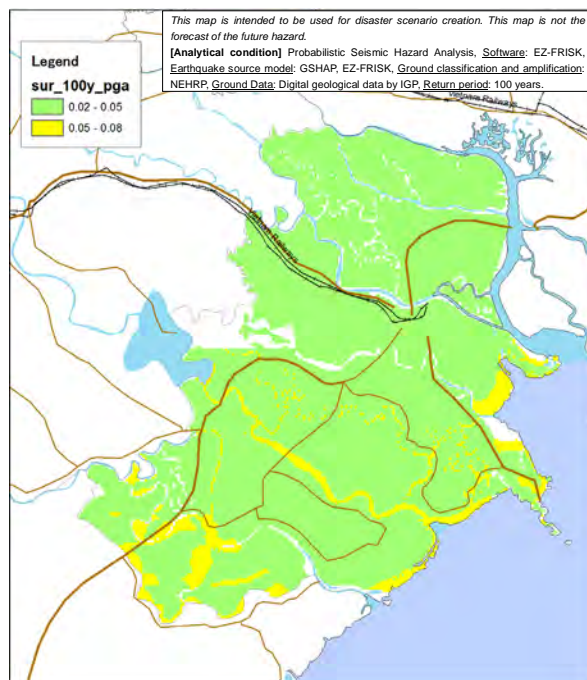


図 A.1.9 地表での加速度分布（100 年期待値、単位：g）

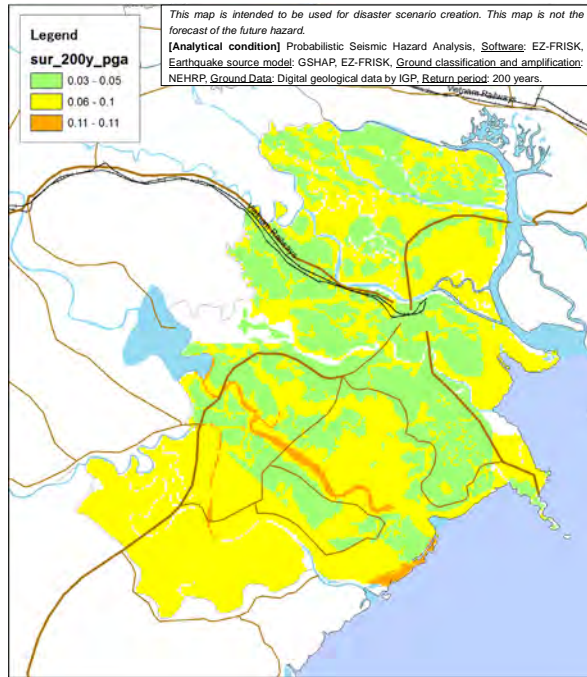


図 A.1.10 地表での加速度分布 (200 年期待値、単位 : g)

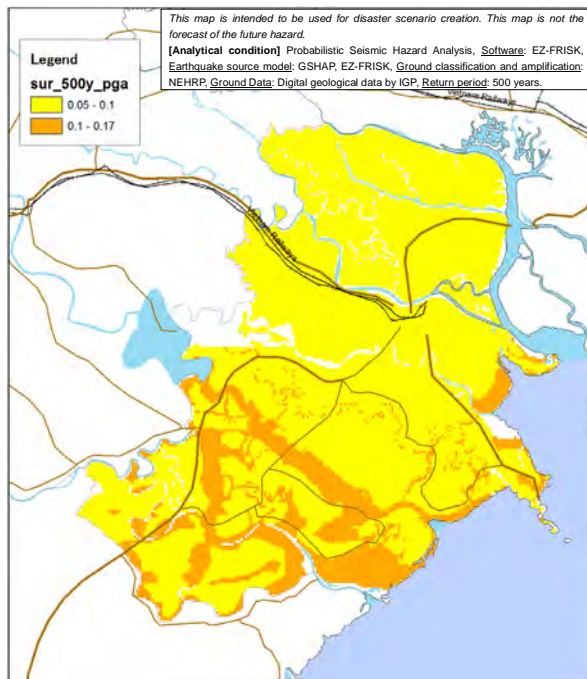


図 A.1.11 地表での加速度分布 (500 年期待値、単位 : g)



図 A.1.12 地表での震度分布（50 年期待値、MMI 震度）



図 A.1.13 地表での震度分布（100 年期待値、MMI 震度）



図 A.1.14 地表での震度分布（200 年期待値、MMI 震度）



図 A.1.15 地表での震度分布（500 年期待値、MMI 震度）

A.1.5 解析結果の評価

(1) 確率論的地震動評価

確率論的地震動の評価プログラムは、基本的に同じ考え方に基づいているため、インターフェースを除いて大きな違いは無い。結果に大きな影響を与えるのは震源モデルである。過去に発生した地震のカタログのみならず、これまでに歴史上地震発生の記録がなくとも将来地震を発生する可能性のある断層、あるいは地域として地震発生源をとらえることも必要である。今回の解析で使用した震源モデルは、商用パッケージとして有償で提供されているものである。地域ごとに既存文献をコンパイルして作成されたもので、パイロット地域の評価には十分な精度が確保されているものである。しかし、一般に活断層の評価に関しては、研究者ごとに見解が大きく異なることが多く、広くコンセンサスを得ることは困難である。より狭い地域を対象とする場合、それぞれの地域の研究者の見解を反映することも必要であろう。

(2) 地盤による増幅特性の評価

地盤による地震動増幅の評価には、さまざまな手法がある。今回用いた方法はその中で比較的簡便に実施できる方法を採用した。基本的には地震動の増幅を評価するためには、地中の地層構造を知る必要があるが、今回の方法は地質図から得られる情報だけで、簡便に増幅率を推定している。現地の地盤調査結果や研究者が解析した情報が得られれば、部分的にでも精度よく推定できる。このような地盤調査は ASEAN 地域で行われている、あるいはこれから行われる可能性があり、このような研究成果を入手することが有効である。

参考文献

- 1) McGuire, R. K. (2004). Seismic Hazard and Risk Analysis, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley.
- 2) 防災科学技術研究所, 2005, 全国を対象とした確率論的地震動予測地図作成方法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, 第 275 号.
- 3) Danciu, L., M. Pagani, D. Monelli and S. Wiemer (2010), GEM1 Hazard: Overview of PSHA Software, GEM Technical Report 2010-2.
- 4) Abrahamson N. and W. Silva, 2008, Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations, Earthquake Spectra, Vol. 24, Issue 1, pp. 67-97.
- 5) Boore D. M. and G. M. Atkinson, 2008, Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01 s and 10.0 s, Earthquake Spectra, Vol. 24, Issue 1, pp. 99-138.
- 6) Campbell K. W. and Y. Bozorgnia, 2008, NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s, Earthquake Spectra, Vol. 24, Issue 1, pp. 139-171.
- 7) Chiou B. S.-J. and R. R. Youngs, 2008, An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, Earthquake Spectra, Vol. 24, Issue 1, pp. 173-215.

- 8) Atkinson G. M. and D. M. Boore, 2003, Empirical Ground-Motion Relations for Subduction-Zone Earthquakes and Their Application to Cascadia and Other Regions, Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 93, No. 4, 1703-1729.
- 9) Youngs, R. R., S. -J. Chiou, W. J. Silva, and J. R. Humphrey, 1997, Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes, Seism. Res. Let., Vol. 68, No. 1, 58-73.
- 10) Federal Emergency Management Agency, 1995. FEMA 222A and 223A - NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, 1994 Edition, Washington, D. C., Developed by the Building Seismic Safety Council (BSSC) for the Federal Emergency Management Agency (FEMA)
- 11) Trifunac M. D. and A. G. Brady, 1975, On the Correlation of Seismic Intensity Scales with the Peaks of Recorded Strong Ground Motion, Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 65.

A.2 津波災害のアセスメント

津波災害アセスメントの流れを図 A.2.1 に示す。以下ではこの各項目について説明し、その後に解析結果を示す。

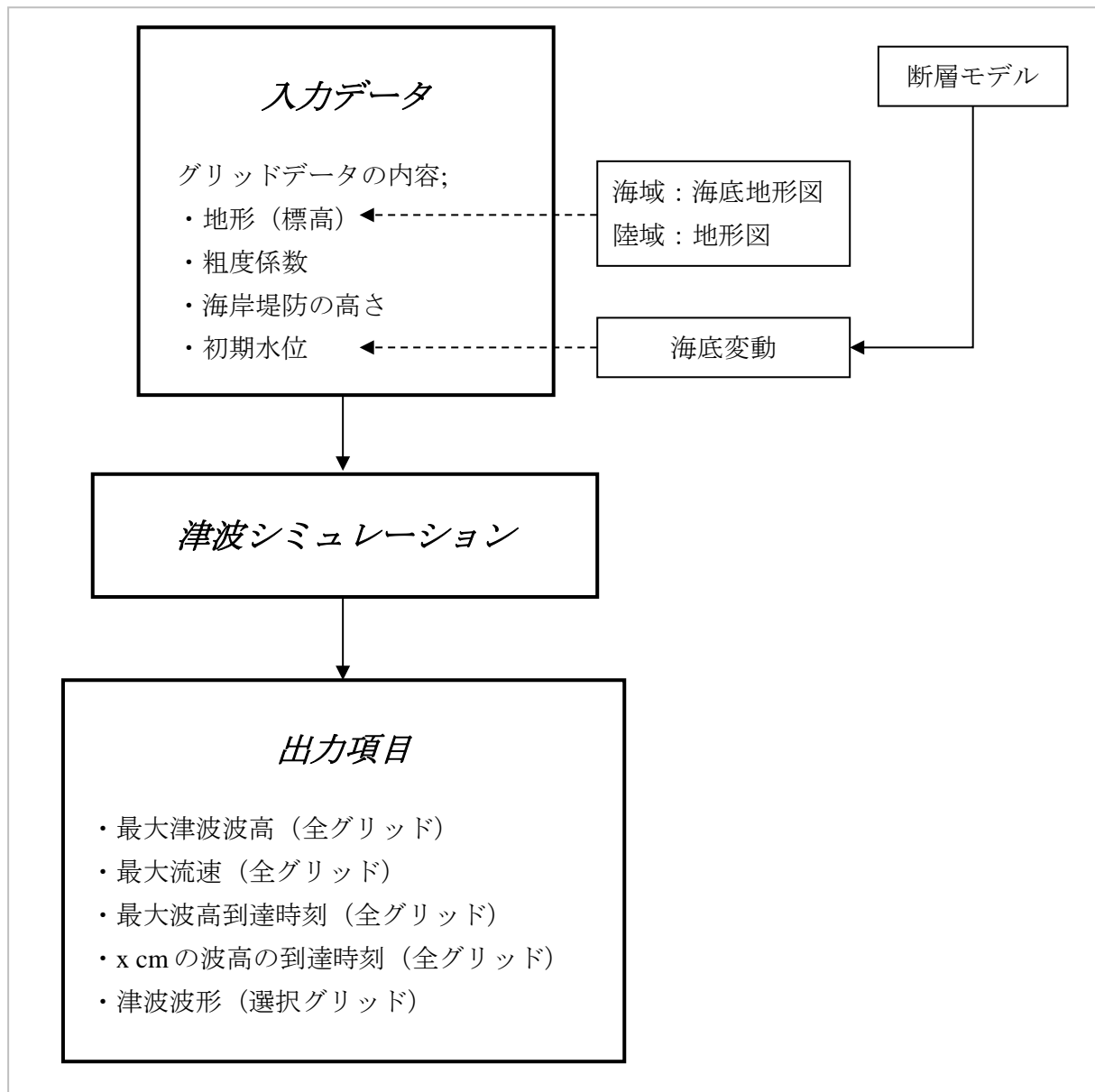


図 A.2.1 津波災害アセスメントの流れ図

A.2.1 津波の理論とシミュレーションモデル

津波の挙動を表す理論には、線形長波理論、非線形長波理論、線形分散波理論、非線形分散波理論などがある。いずれも、波長が水深に比べて大きい長波に対して適用できる長波近似に基づく理論である。一般に、津波の波長が数 10~100km であるのに対して海の平均水深は 4km 程度であることから、長波近似は妥当と見なされている。

波の振幅が水深に対して小さく（微小振幅）、海底摩擦などが無視できる深水域（概ね 50m 以深）では線形長波理論が適用され、それより浅く微小振幅の仮定が成り立たない浅水域や陸上の遡上には非線形長波理論が適用される。

また、津波に複数の波長の成分が含まれている場合、短波長の波の方が速度が遅いことから短波長成分が長波長成分から遅れて波が次第に分離する現象が見られる。この波長による速度の違いを分散性という。分散性を考慮した理論が分散波理論であるが、分散波理論によるシミュレーションは現状では長波理論ほど一般的ではない。ただし、伝達距離が 1,000km を越えるような遠地津波では分散性の影響が出る可能性があるという研究もあり、こうした場合には線形分散波理論を用いる。また、浅水域での分散性の影響を考慮する場合は非線形分散波理論を用いる。津波の理論の詳細については、参考文献の 1)、2)などを参照されたい。

これら長波理論および分散波理論に基づいて開発された津波のシミュレーションモデルの幾つかの例を表 A.2.1 に示す。今回のシミュレーションでは、東北大学が開発したプログラム「TUNAMI」を使用した。

表 A.2.1 津波シミュレーションモデル

名称	組織	ソース	URL
長波理論			
TUNAMI	Tohoku University, Japan	Open	https://code.google.com/p/tunami/
STOC	The Port and Airport Research Institute, Japan	Open	http://www.pari.go.jp/cgi-bin/search-en/detail.cgi?id=2005060440205
COMCOT	Cornell University, USA	Open	http://ceeserver.cee.cornell.edu/pll-group/comcot.htm
GeoClaw	Washington University, USA	Open	http://depts.washington.edu/clawpack/geoclaw/
MOST	NOAA, USA	Closed	http://nctr.pmel.noaa.gov/model.html
ComMIT	NOAA, USA	Closed	http://nctr.pmel.noaa.gov/ComMIT/
分散波理論			
Disperse Potential Model	National Defense Academy, Japan	Open	http://www.nda.ac.jp/cc/kensetsu/index-e.html
FUNWAVE	University of Delaware, USA	Open	http://chinacat.coastal.udel.edu/programs/funwave/funwave.html
NEOWAVE	University of Hawaii, USA	Open	http://www.ore.hawaii.edu/OE/index.htm
COULWAVE	Cornell University, USA	Closed	http://ceeserver.cee.cornell.edu/pll-group/doc/COULWAVE_manual.pdf

A.2.2 入力データ

津波シミュレーションの入力データは一般に以下の項目である。これらのデータは以下で説明する格子ごとに与える必要がある。

- 1) 地形データ
- 2) 粗度データ
- 3) 堤防データ
- 4) 初期水位（=海底地形変動量）データ

(1) 地形データ

津波のシミュレーションを実施するに当たっては、地震が発生する地域から対象とする地域を含む範囲の地形をモデル化する必要がある。地形モデルには海底地形に加えて遡上する範囲の陸地の地形や堤防などの海岸構造物が含まれる。1,000km 四方程度の範囲のモデル化には直交座標系を用い、より広域をモデル化する場合には極座標系を用いる。今回の解析では 1,000km 四方よりはやや広域であるが、直交座標系である UTM 座標系を用いている。

地形モデルは対象範囲を正方形の格子で分割し、格子ごとに標高と摩擦抵抗を考慮するための粗度係数が付与される。格子の大きさは地形の複雑さと波長との関係で設定するが、一般に陸地に近づくほど地形の変化が大きくなり、津波にも短波長成分が卓越してくることを考慮して、格子の大きさを順次小さくしていく方法（ネスティング）が採用される。今回の解析では、沖合から陸地にかけて 1,350m→450m→150m→50m と格子を順次 1/3 の大きさにして接続している。他に 1/2 接続や 1/5 接続も用いられるが 1/3 接続が最も一般的である。

地形データは各機関が作成した海図や地形図から作成する。最近は数値データが提供されている地域も多いが、数値データがない場合は海図や地形図のデジタル化作業が必要になる。また、表 A.2.2 に示すような国際的な機関が無償で提供している数値データを利用することも可能である。今回の解析では、震源から沿岸までを GEBCO_08 Grid でモデル化し、沿岸から海岸まではより詳細な海図データを使用して地形モデルを作成した。GEBCO_08 Grid で作成した広域の地形モデルの例を図 A.2.2 に、海底地形データで作成した沿岸部の地形モデルの例を図 A.2.3 に示す。

表 A.2.2 無償で入手できる海底地形データ

名称	説明
GEBCO_08 Grid	<ul style="list-style-type: none"> ・ 提供組織: British Oceanographic Data Centre (BODC) ・ 30 秒ごとの海底地形+陸上地形データ ・ URL: http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/
SRTM30_PLUS	<ul style="list-style-type: none"> ・ 提供組織 : Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego ・ 30 秒ごとの海底地形+陸上地形データ ・ URL: http://topex.ucsd.edu/

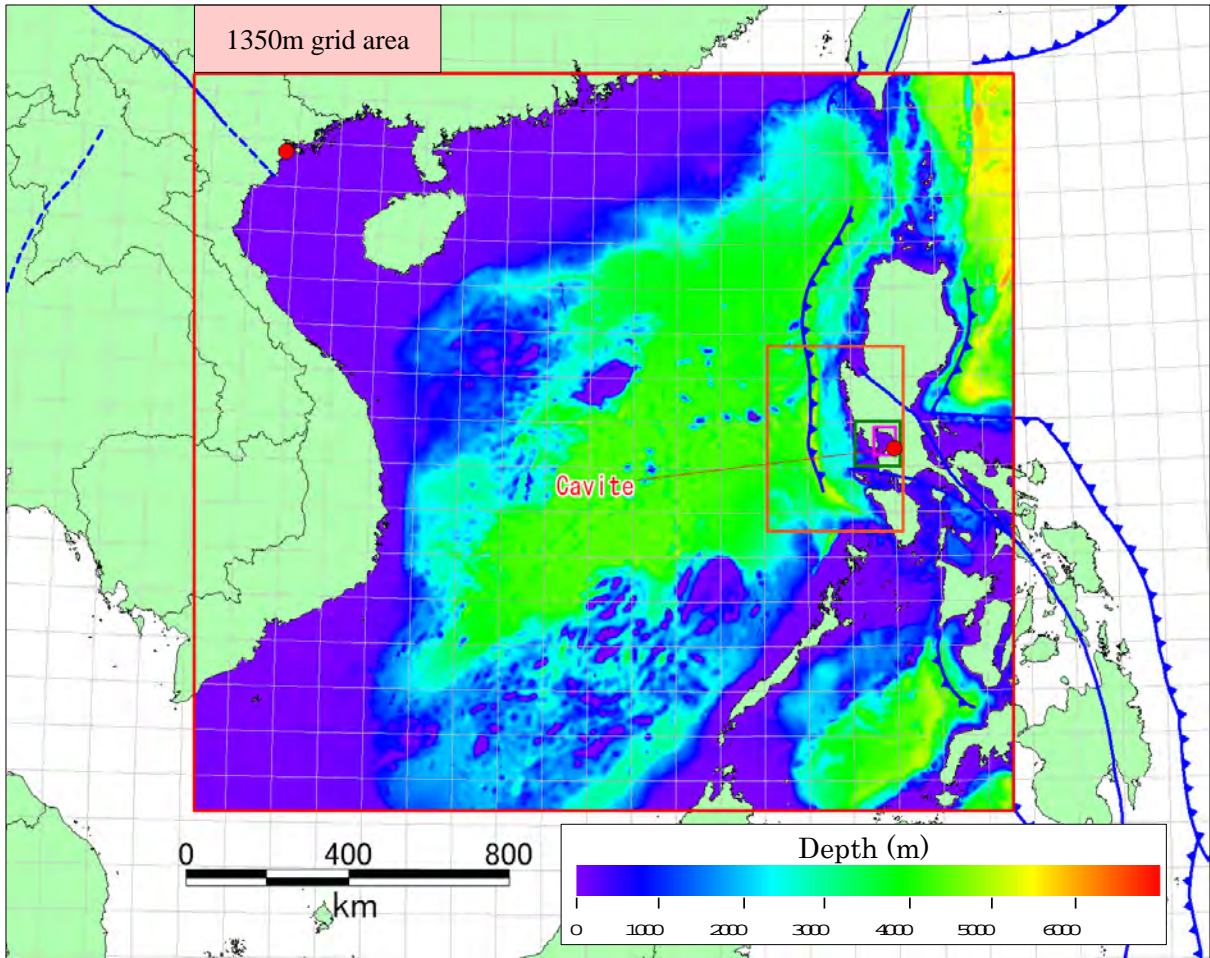


図 A.2.2 GEBCO データによる南シナ海地域の海底地形

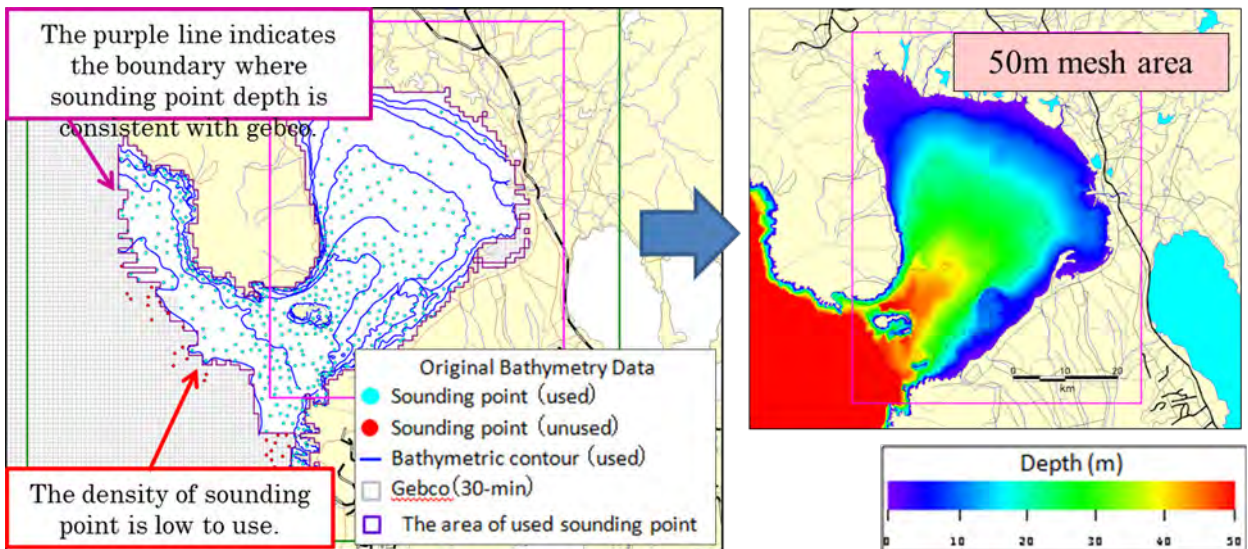


図 A.2.3 マニラ湾付近の海底地形

(2) 粗度データ

津波の伝播に伴う海域および陸域の抵抗はマンニングの粗度係数 n で定義される。海域の粗度係数としては $n=0.025$ 程度の値を用いることが多い。陸域の粗度係数 n については表 A.2.3³⁾、表 A.2.4⁴⁾などが参考となる。

表 A.2.3 マニングの粗度係数の比較³⁾

Fukuoka et al. (1994)		Aida (1977)		Goto and Shuto (1983)		Kotani et al. (1998)	
category	estimated roughness coefficient	category	equivalent roughness coefficient	category	estimated coefficient	category	setup roughness coefficient
80%	0.1			high density	0.01		
50~80%	0.096	dense zone	0.07			high density residential zone	0.080
20~50%	0.084	rather high density zone	0.05	mid density	0.05	mid density residential zone	0.060
0~20%	0.056			low density	0.03	low density residential zone	0.040
road	0.043	other land zone	0.02			forest zone (inc. garden, tide protection forest)	0.030
		Shoreline (inc. tide protection forest)	0.04			field zone (inc. waste land)	0.020
						sea and river zone (w/o tide protection forest)	0.025

表 A.2.4 土地被覆によるマニングの粗度係数⁴⁾

Land cover class	Mannings n	Manning M in $m^{1/3} s^{-1}$	Source
Barren land/mud, sand, beach, roads	0.0310	32	b
Grassland	0.0360	28	b
Young Plantation	0.0370	27	b
Scrubland	0.0380	26	b
Cashew Plantation	0.0430	23	b
Other plantation	0.0430	23	b
Coconut plantation	0.0458	22	a
Semi open landscape	0.0550	18	b
Oil plantation	0.0573	17	a
Middle density urban area	0.0600	17	c,d
Melaleuca forest	0.0550	18	b
Rubber plantation	0.0609	16	a
Casuarina forest	0.0731	14	a
Inner beach forest	0.0744	13	a
High density urban area	0.0800	12.5	c,d
Other forest/rainforest	0.0850	12	c,e
Outer beach forest	0.0870	12	a
Mangrove forest	0.0951	11	a
Buildings non-resistant	0.0900	11	c,f
Buildings resistant	0.4000	2.5	c,f
Mangrove area 2005 (post-tsunami)			
Mangrove → water	0.0110	90	a,b,g
Mangrove → mud	0.0310	32	a,b,g
Mangrove → damaged understory	0.0310	32	a,b,g
Mangrove → sand	0.0310	32	a,b,g
Mangrove → inclined, roots remaining	0.0360	28	a,b,g
Mangrove → no damage	0.0951	11	a,b,g
Mangrove → indirect damage	0.0951	11	a,b,g

Values are derived from ^a measurement of tree stand parameters in the field followed by calculation of Manning's n according to Eq. (1); ^b measurement of stand parameters for different land cover classes in the field and subsequent estimation of Manning's n ; ^c literature; ^d Kotani (1998) in Latief and Hadi (2007); ^e Arcement and Schneider (1989); ^f Gayer et al. (2010), Leschka et al. (2009); ^g + change detection/Ikonos

(3) 堤防データ

海岸に堤防などの海岸構造物がある場合には、その高さ情報を格子データに取り込むことができる。

(4) 初期水位 (海底地形変動量)

津波シミュレーションでは断層運動にともなう海面変動量を初期値として与える必要がある。海面変動量は、海底地形の変動量を計算し、この鉛直変位と等価な海面変動が発生すると仮定して設定する。

断層運動にともなう海底地形の変動量は表 A.2.5 に示す断層パラメーターを使って、半無限弾性体中の矩形の断層のずれによって生じる媒質内部および地表面の変位として計算する。計算理論の詳細については Mansinha and Smilie (1971)⁵⁾ や Okada (1992)⁶⁾ を参照されたい。また参考文献の 7)、8) に示した Cornell University や National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) のウェブサイトも参考になる。

今回の解析では、岡田によって開発されたプログラム DC3D0 / DC3D⁸⁾ を使って地形変動量を計算した。計算した地形変動量の例を図 A.2.4 に示す。

表 A.2.5 断層パラメータの例

断層パラメータ	計算例 (図 A.2.4 に対応)
Depth (km)	18
Strike angle (degree)	177
Dip angle (degree)	24
Rake angle (degree)	90
Length (km)	313
Width (km)	70
Slip (m)	9.6

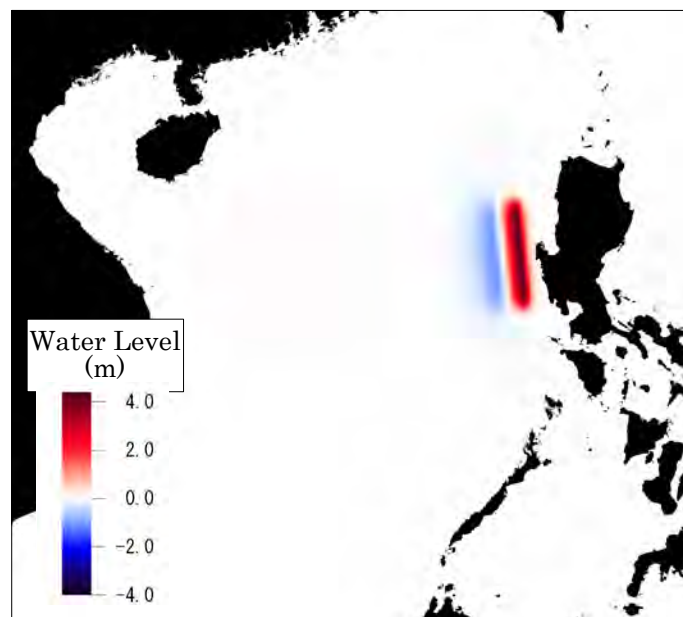


図 A.2.4 鉛直変位の計算例

A.2.3 出力項目

津波シミュレーションによって得られるのは、一般に格子ごとの以下の項目である。

- 1) 最大水位または最大浸水深（全格子）
- 2) 最大流速（全格子）
- 3) 最大水位の到達時間（全格子）
- 4) x cm 高さの津波の到達時間（全格子）
- 5) 対象格子の水位波形（選択した格子）
- 6) 対象格子の流速波形（選択した格子）

作成した入力データを使って東北大学のプログラム「TUNAMI」で計算したシミュレーション結果の例を図 A.2.5 に示す。図 A.2.5 の左側は各格子の最大水位を図化したものであり、右側は抽出した 2 地点の経時的な水面変動量を波形としてグラフ化したものである。

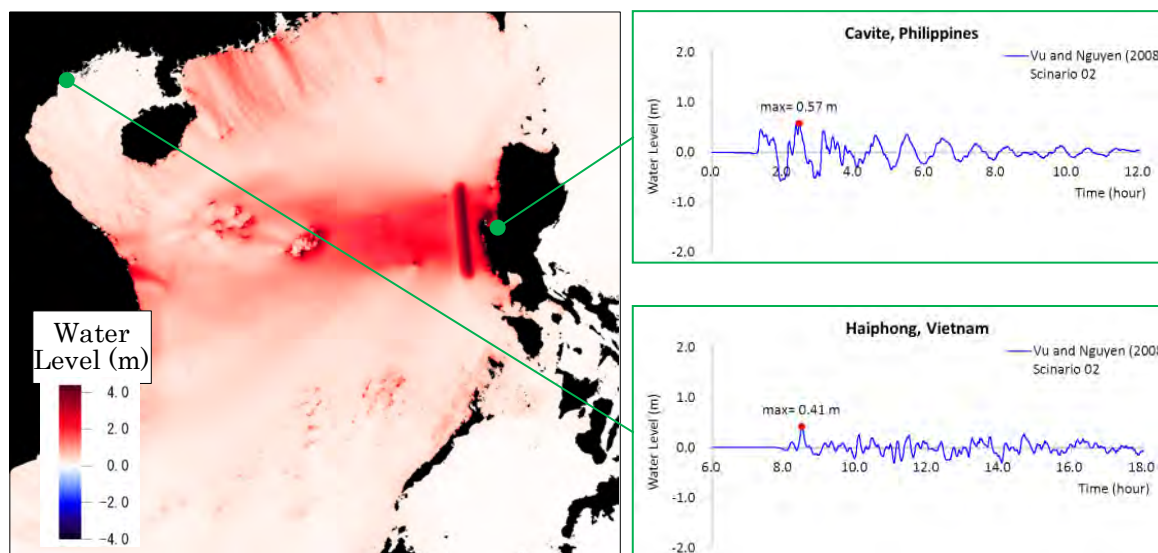


図 A.2.5 津波シミュレーション結果の例

A.2.4 想定地震の再現期間

想定地震の再現期間については、想定地震付近の地震データ（地震カタログ）を使い Gutenberg-Richter 式によって評価する。大きい地震ほど発生頻度が少ないことはよく知られている事実である。この関係を以下の式で 1941 年に初めて定式化したのが Gutenberg と Richter である。このためこの関係は一般に Gutenberg-Richter 則または G-R 則などとよばれている。

$$\log n(M) = a - b M$$

または

$$\log N(M) = A - b M$$

表 A.2.6 は 1965 年から 1999 年の期間の日本周辺のマグニチュード (0.1 きざみ $dM=0.1$) ほどの地震の頻度 $n(M) dM$ とマグニチュード M 以上の地震の累積頻度 $N(M)$ を整理したものである。図 A.2.6 はこのデータを横軸にマグニチュード、縦軸を頻度としてプロットしたものである。また同図に示されている式は M と N の関係を最小自乗法などで回帰した直線である。

例えば同式において $M=7.5$ のとき $N=6.8$ となるが、これはマグニチュード 7.5 以上の地震が発生する頻度が 35 年間 (1965 年から 1999 年) で平均 6.8 回であることを意味する。これを 1 年間の確率に直すと $6.8/35=0.19$ 回/年となる。すなわち日本周辺ではマグニチュード 7.5 以上の地震は年間平均で 0.19 回発生していると解釈することができる。また、この逆数をとると 5.1 年となるが、これは日本周辺ではマグニチュード 7.5 以上の地震の再現期間は 5.1 年であると表現することができる。

以上のようにして想定地震周辺の G-R 則を求め、想定地震のマグニチュードをその式に当てはめることで、想定地震の年発生確率や再現期間を知ることができる。

表 A.2.6 日本付近の浅発地震のマグニチュード分布(1965-1999 年)⁹⁾

M	$n(M)dM$	$N(M)$	M	$n(M)dM$	$N(M)$	M	$n(M)dM$	$N(M)$
8.2	0	0	7.1	5	18	6.0	52	224
8.1	1	1	7.0	5	23	5.9	56	280
8.0	0	1	6.9	4	27	5.8	79	359
7.9	1	2	6.8	2	29	5.7	91	450
7.8	2	4	6.7	9	38	5.6	94	544
7.7	1	5	6.6	14	52	5.5	134	678
7.6	0	5	6.5	14	66	5.4	138	816
7.5	3	8	6.4	18	84	5.3	199	1015
7.4	2	10	6.3	18	102	5.2	256	1271
7.3	0	10	6.2	30	132	5.1	343	1614
7.2	3	13	6.1	40	172	5.0	407	2021

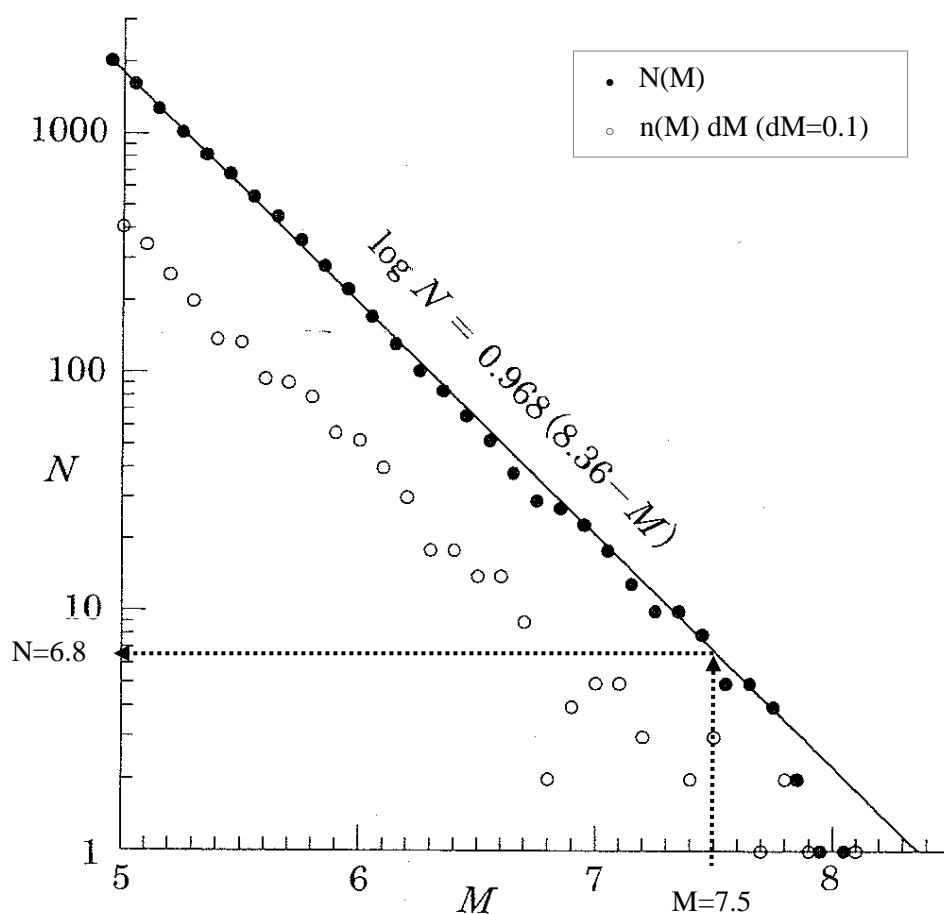


図 A.2.6 表 A.2.6 のプロット⁹⁾

A.2.5 解析結果

(1) 既存情報の収集

地震の想定および津波シミュレーションに係る既存情報として以下のものを収集した。

想定地震関連の文献

- EMILE A. OKAL et al. (2011)¹⁰⁾: Tsunami Simulations for Regional Sources in the South China and Adjoining Seas
- Vu Thanh Ca1 et al. (2008)¹¹⁾: Tsunami risk along Vietnamese coast
- Nguyen Hong Phuong et al. (2013)¹²⁾: Simulation of a Worst Case Tsunami Scenario from the Manila Trench to Vietnam

地震データ

- IGP-VAST (Institute of Geophysics, Vietnam Academy of Science and Technology) 作成の地震カタログ

海底地形データ

- 広域：GEBCO_08 Grid
- 対象地周辺：IGP-VAST 作成の海底地形データ

(2) 想定地震の設定

1) 地震データの統計解析 (Gutenberg-Richter 則)

図 A.2.7 のようにして抽出したマニラ海溝沿いの地震データ¹³⁾を使って Gutenberg-Richter 則にもとづき地震の再現期間を評価した。評価した結果を図 A.2.8 に示す。いくつかのデータセットに基づいて得られた関係は以下の通りである。

- 推定式-1：1980年～2002年のデータから推定される G-R 式のパラメータは b 値=1.0、a 値=5.2 である。
- 推定式-2：b 値=1.0 として他のデータを包絡するように設定した式は、a 値=6.0 である。
- 推定式-3：b 値を固定せず、全データを包絡するように設定した G-R 式は、b 値=0.9、a 値=5.2 となった (参考)。

推定式-1 と 2 からマニラ海溝沿いの対象海域の地震発生頻度を幅で評価すると、再現期間 100 年の地震のマグニチュードは、7.2～8.0 と推定される。

一方、マグニチュード 8 の地震の再現期間は 100～630 年、マグニチュード 9 の地震の再現期間は 1000～6300 年と推定される。

2) 災害規模の想定

Hai Phong は大規模なプレート境界地震が少ない南シナ海に面しており、大規模な津波災害の記録もないが、今後の津波シミュレーションの活用等も踏まえて、対象地に影響の可能性がある地震を想定する方針とした。

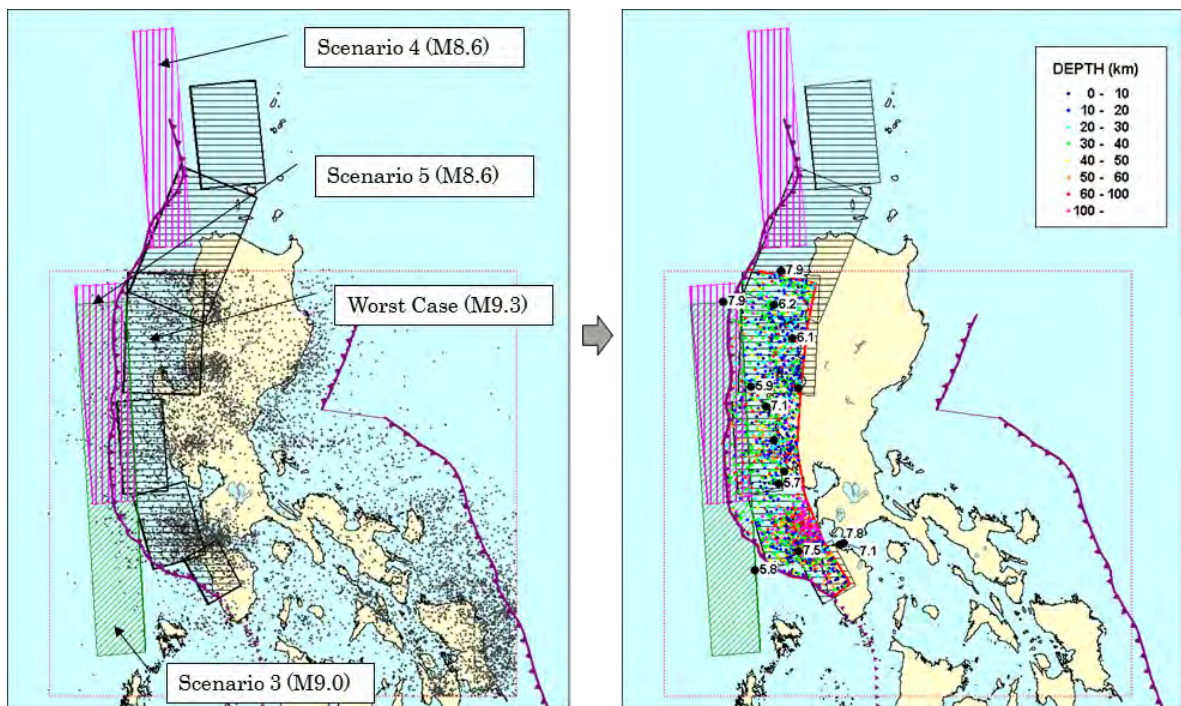


図 A.2.7 発生確率分析に用いたマニラトレンチ沿いの地震データ

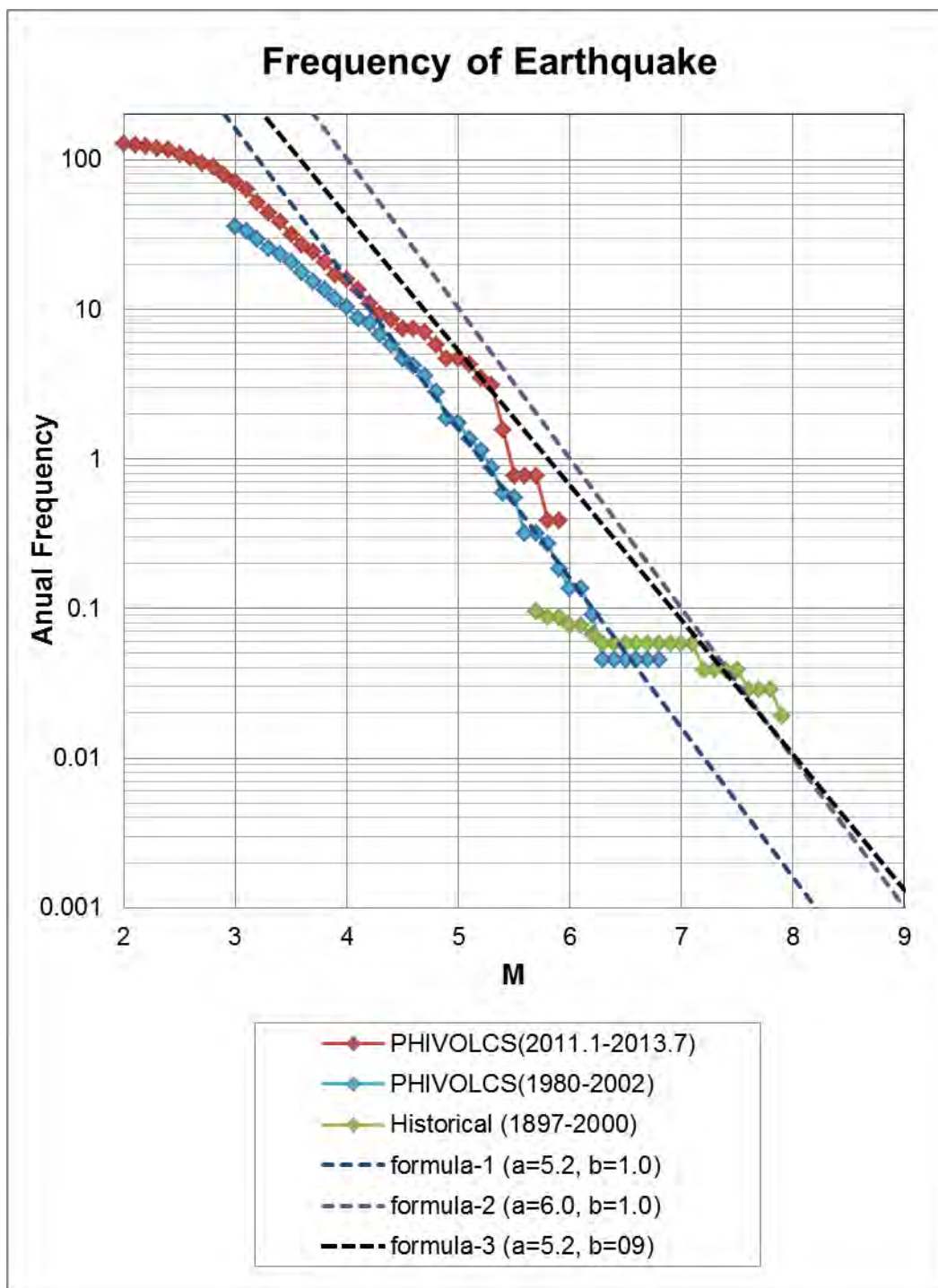


図 A.2.8 マニラトレンチ沿いの地震の再来周期（Gutenberg-Richter 則）

(3) 解析と結果

1) 津波（地震）モデルの設定

対象地に大きな影響を与えると考えられる地震を過去の研究から想定した¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾。想定地震の震源パラメータを表 A.2.7 に示す。またこれらの位置を図 A.2.9～図 A.2.11 に示す。

表 A.2.7 震源パラメータ

Scenario No.	Mw	Depth (km)	Strike (degree)	Dip (degree)	Rake (degree)	Length (km)	Width (km)	Slope (m)
1 ¹¹⁾	8.0	12	177	24	90	151	47	5.3
2 ¹¹⁾	8.5	18	177	24	90	313	70	906
3 ¹¹⁾	9.0	27	177	24	90	646	101	17.5
4 ¹¹⁾	7.5	24	57	78	-45	89	25	3.0
5 ¹¹⁾	7.5	17	172	78	-45	89	25	3.0
6 ¹⁰⁾	8.6	10	355	35	57	400	90	6.0
7 ¹⁰⁾	8.6	10	355	24	72	400	90	6.0
Worst Case ¹²⁾	9.3	0	35.4	10	90	190	120	25.0
		0	22	20	90	250	160	40.0
		0	2	28	90	220	160	40.0
		0	356	20	90	170	90	28.0
		0	344	22	90	140	110	12.0
		0	331	26	90	95	80	5.0

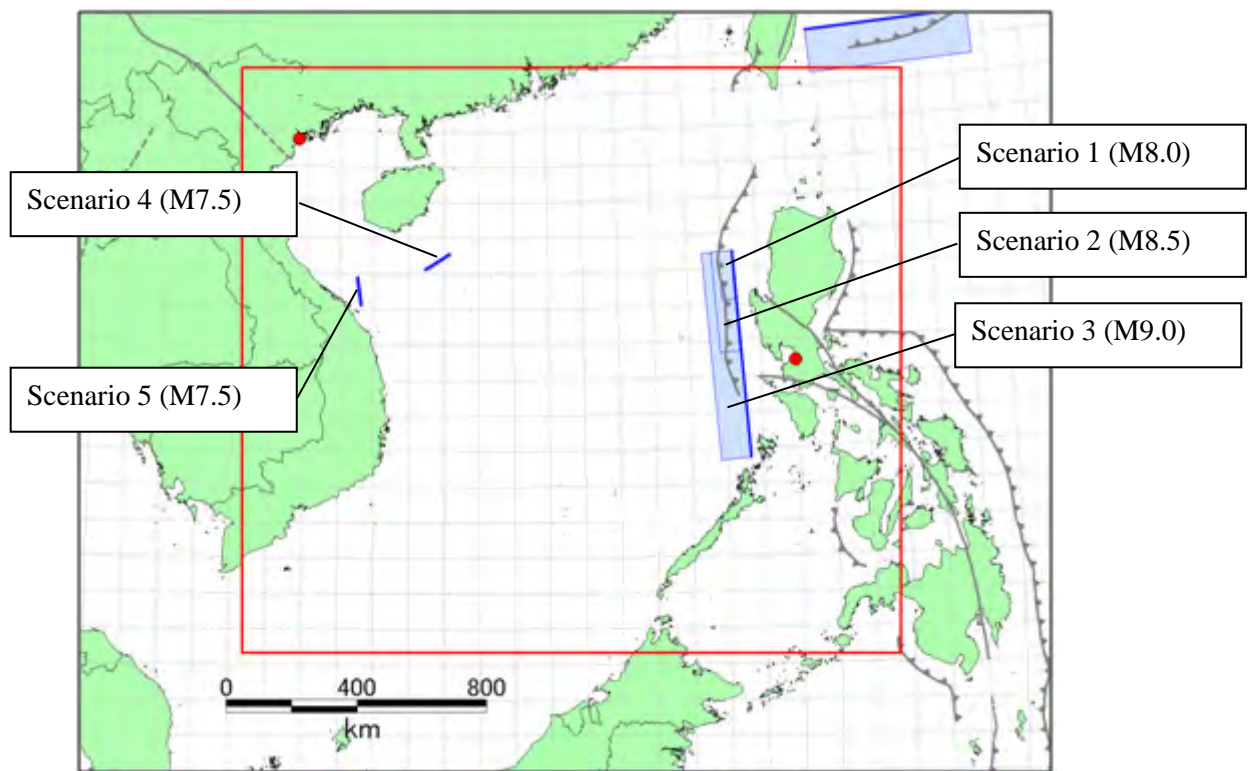


図 A.2.9 津波波源モデル(Scenario 1 - 5)

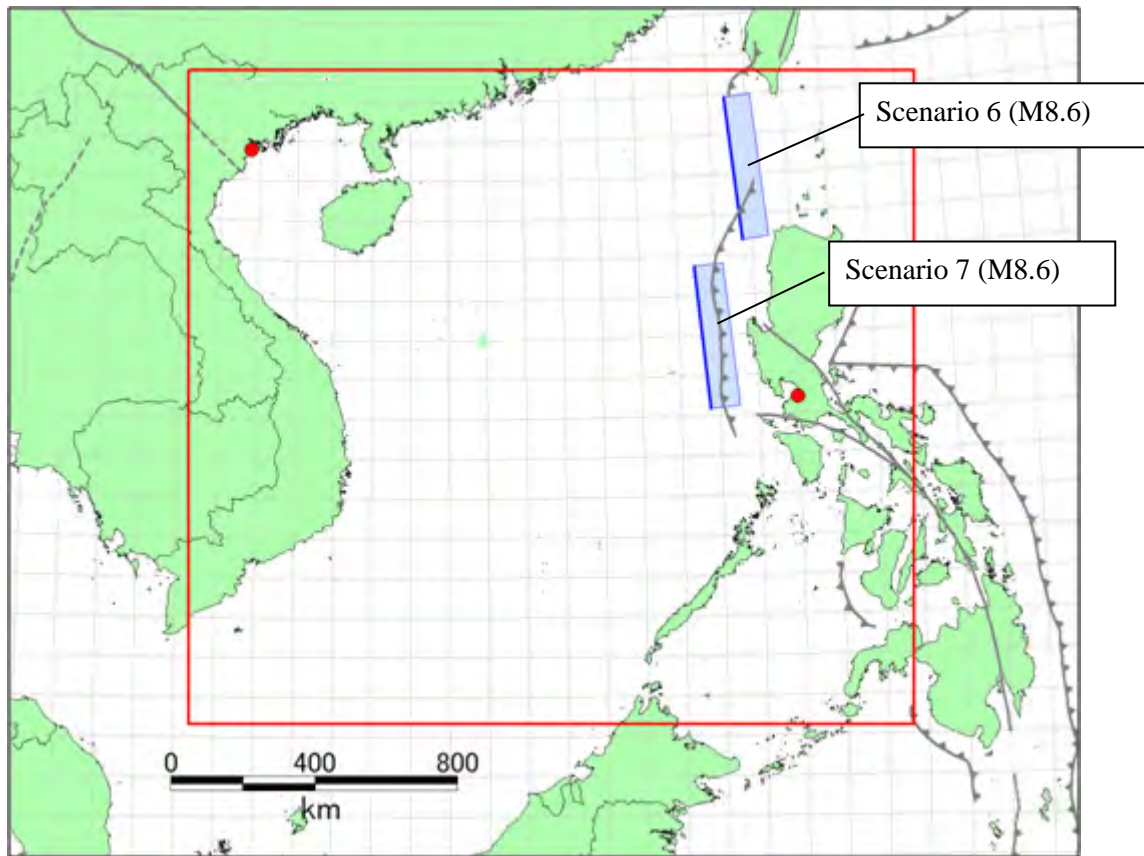


図 A.2.10 津波波源モデル(Scenario 6 - 7)

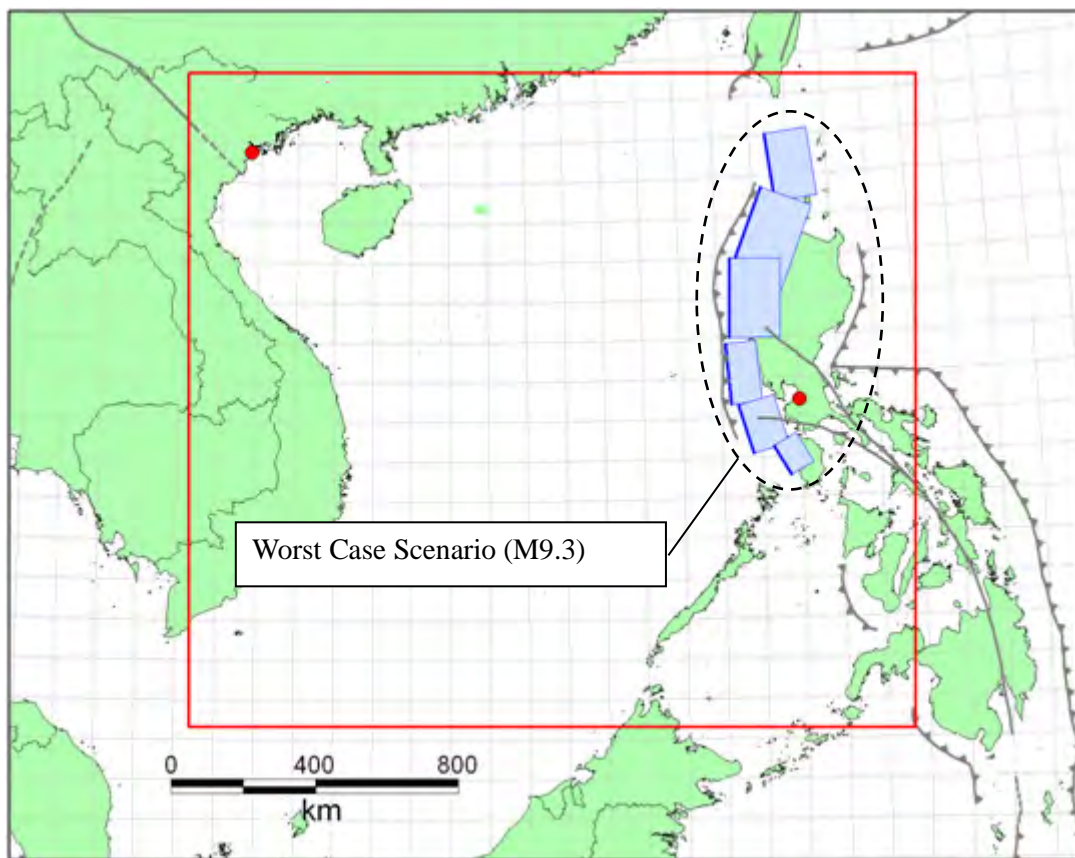


図 A.2.11 津波波源モデル(Worst Case Scenario)

2) シミュレーションモデルの選定

シミュレーションは非線形長波理論にもとづき東北大学が開発したプログラム「TUNAMI」を使って実施した。計算対象期間は地震発生後 24 時間とした。

3) 入力データの作成

座標系は UTM を採用した。グリッドのサイズはネスティングの手法により、正方形の一辺の長さを順次 1350m→450m→150m→50m とした。

地形データ

海域の 1350m、450m、150m および陸域の 50m グリッドについては BODC (British Oceanographic Data Centre)が作成した"GEBCO_08 Grid"データを使用した。

また、50m グリッドで設定した対象地の沿岸部およびその周辺については、IGP-VAST (Institute of Geophysics, Vietnam Academy of Science and Technology) にご提供いただいた水深データを使用した。

GEBCO_08 Grid で作成した広域の地形モデルを図 A.2.12 に、IGP-VAST の水深データから作成した沿岸部の地形モデルを図 A.2.13 に示す。

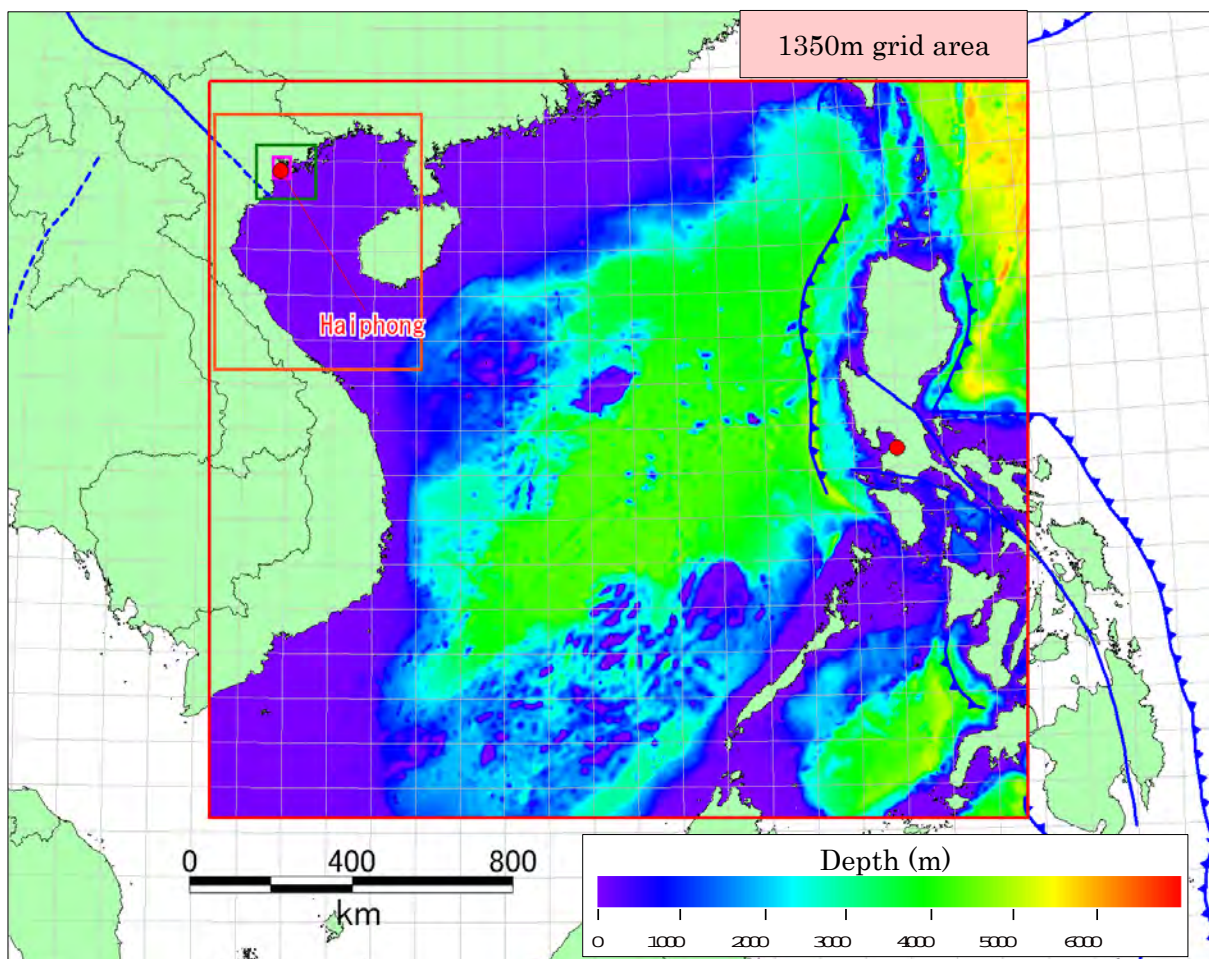


図 A.2.12 GEBCO データによる南シナ海地域の海底地形

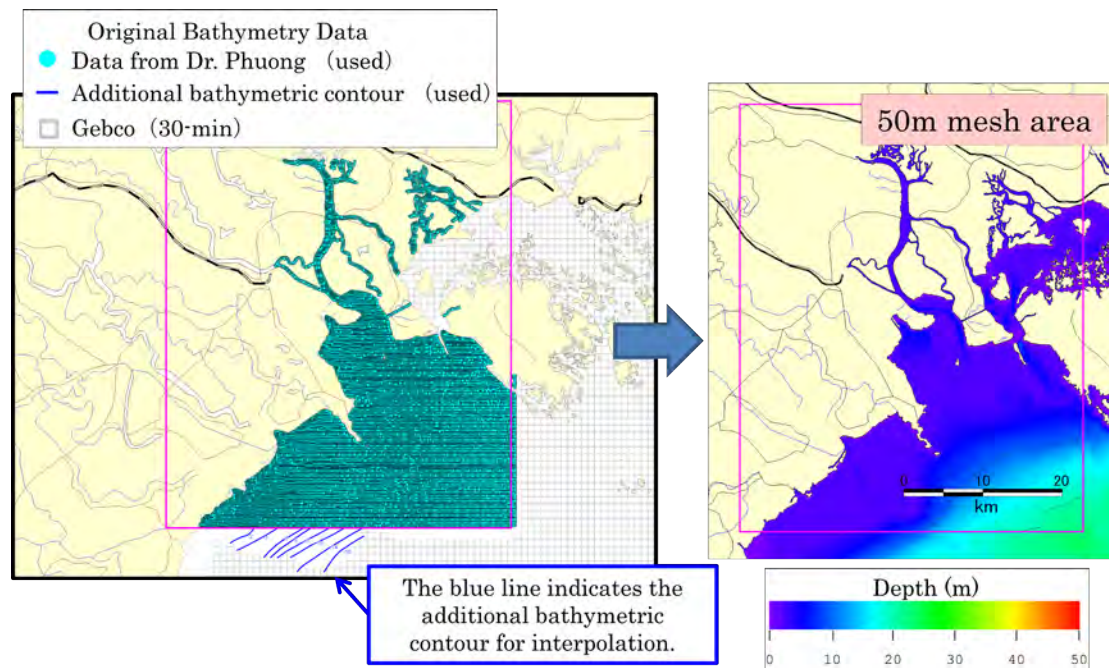


図 A.2.13 ハイフォン周辺の海底地形

粗度データ

海域および陸域の粗度係数は一律 $n=0.025$ を使用した。

堤防データ

堤防等の海岸構造物は今回の解析では考慮していない。

初期水位

初期水位は表 A.2.7 の想定地震の震源パラメータを使い、岡田によるプログラム DC3D0 / DC3D で計算した地形変動量の鉛直成分をグリッドに与えることで設定した。

計算した地形変動量を図 A.2.14、図 A.2.17、図 A.2.20、図 A.2.23、図 A.2.26、図 A.2.29、図 A.2.32、図 A.2.35 に示す。

4) シミュレーションの実施

Scenario 1 ～7 および Worst Case Scenario によるシミュレーション結果を図 A.2.14～図 A.2.37 に示す。表 A.2.8 には各シナリオで Hai Phong 沿岸に予想される最大津波高と再現期間を示す。

Hai Phong 周辺は海南島によって南シナ海からの水路が狭められているため、津波の高さは外洋に比べてそれほど高くない。今回のシミュレーション結果では、Hai Phong 沿岸で発生するマグニチュード 7.5 の地震では津波の高さは 10cm 前後と予想されている (Scenario4、5)。また、マニラ海溝で発生するマグニチュード 8.5 程度の地震でも津波の高さは 1m を越えることはないと言われている (Scenario2、6、7)。マグニチュード 9 を超えるような地震が発生した場合は 1 ～2m 程度の津波が発生する可能性があるが (Scenario3、Worst Case Scenario)、これらが発生する確率は数千年に一度程度と見られる。

表 A.2.8 ハイフォンにおける最大津波波高

Scenario No.	Mw	Return Period (year)	Max. Tsunami Height (m)
1	8.0	100～630	0.11
2	8.5	300～2000	0.41
3	9.0	1000～6300	1.22
4	7.5	-	0.05
5	7.5	-	0.14
6	8.6	400～2500	0.14
7	8.6	400～2500	0.21
Worst Case	9.3	2000～13000	1.92

Scenario 1 のシミュレーション結果

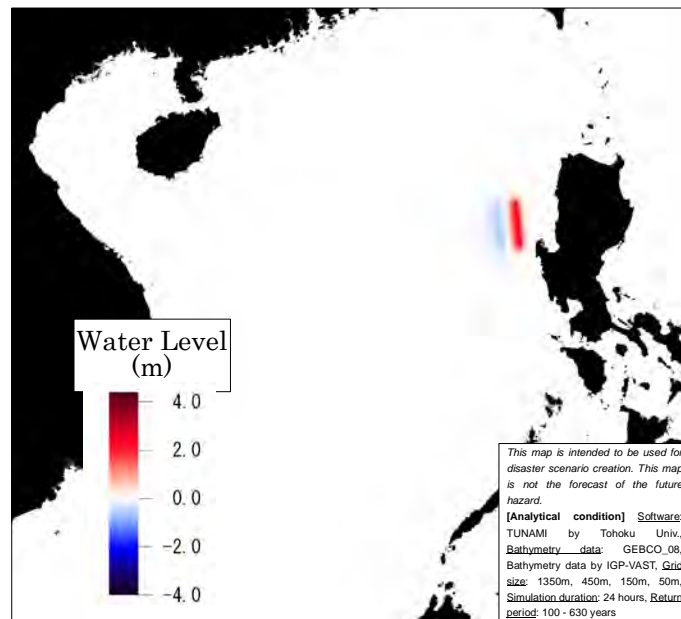


図 A.2.14 鉛直変位 (Scenario 1)

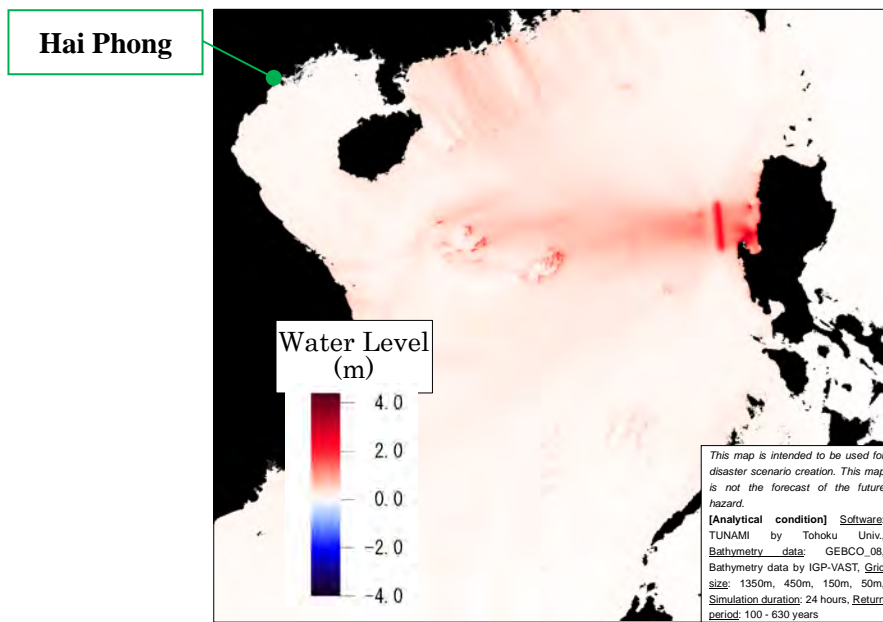


図 A.2.15 最大津波波高 (Scenario 1)

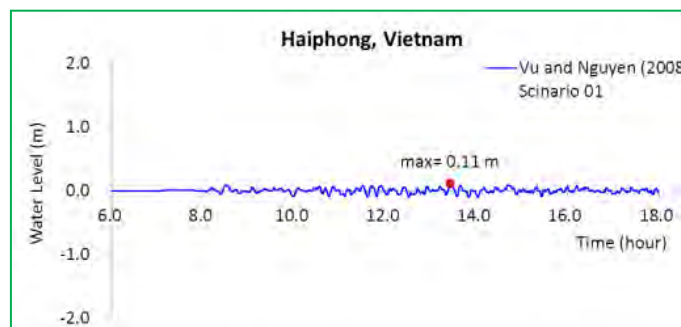


図 A.2.16 ハイフォンにおける津波波形 (Scenario 1)

Scenario 2 のシミュレーション結果

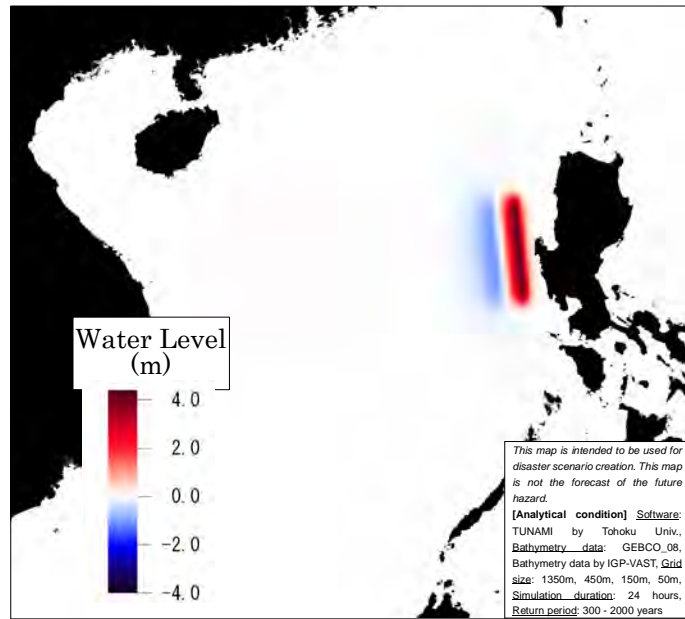


図 A.2.17 鉛直変位 (Scenario 2)

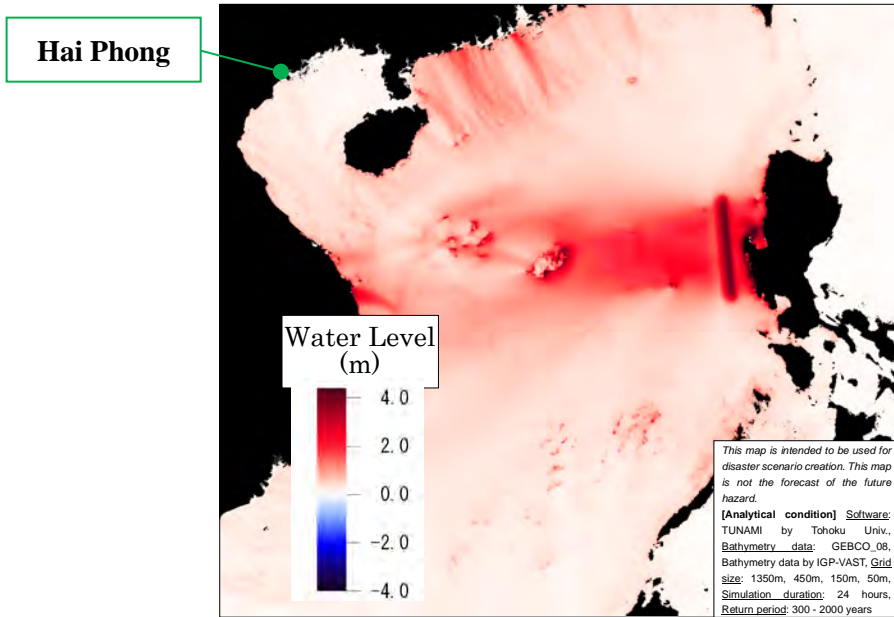


図 A.2.18 最大津波波高 (Scenario 2)

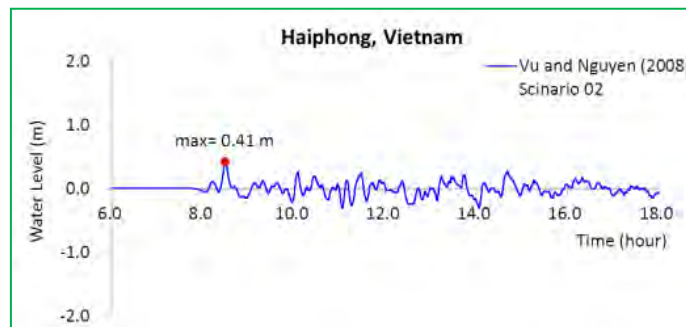


図 A.2.19 ハイフォンにおける津波波形 (Scenario 2)

Scenario 3 のシミュレーション結果

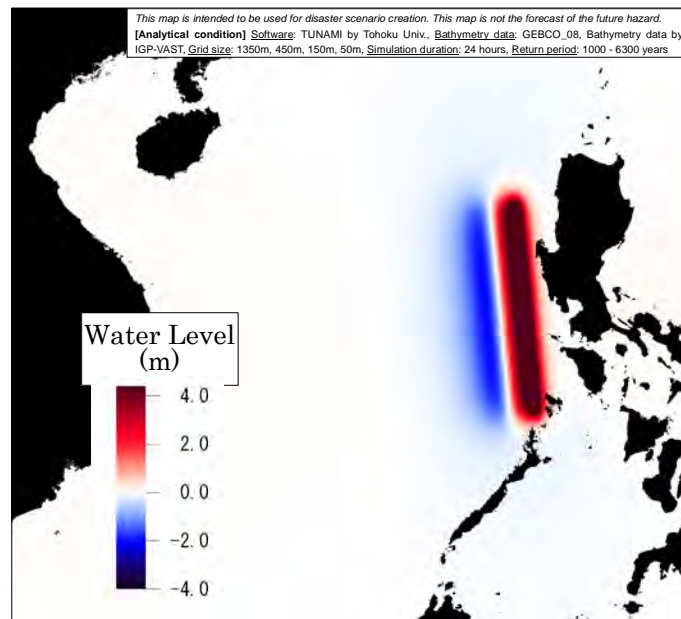


図 A.2.20 鉛直変位 (Scenario 3)

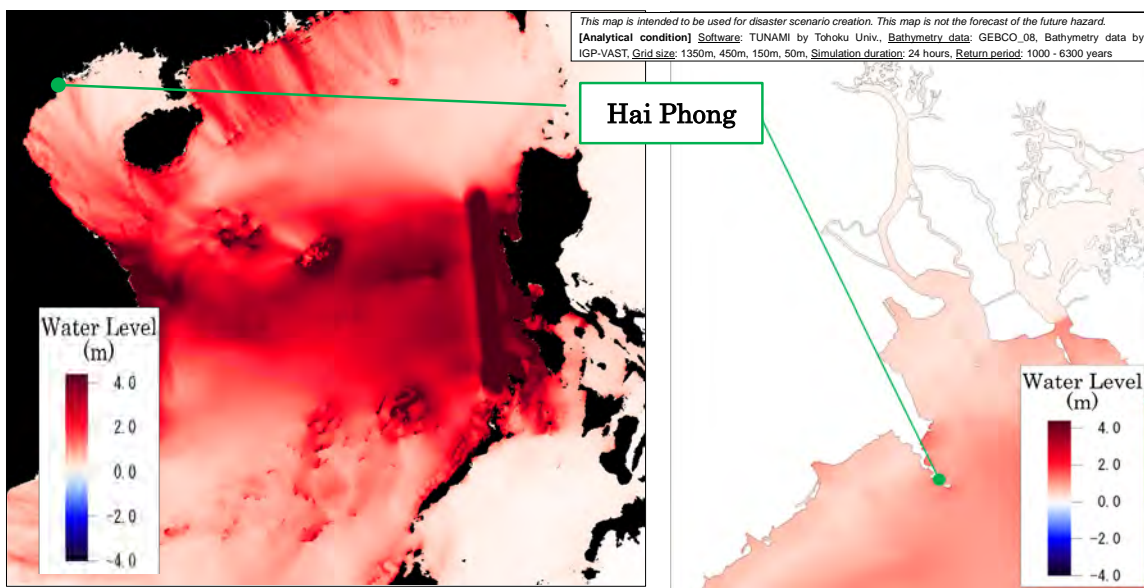


図 A.2.21 最大津波波高 (Scenario 3)

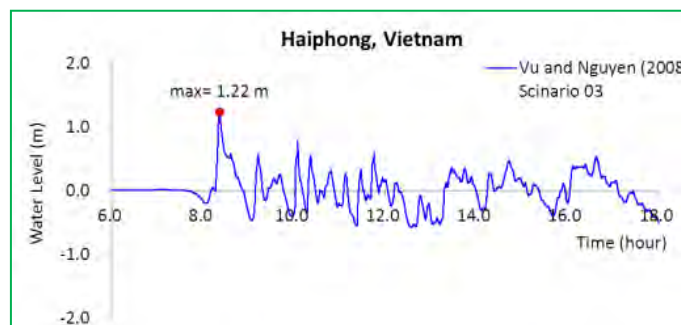


図 A.2.22 ハイフォンにおける津波波形 (Scenario 3)

Scenario 4 のシミュレーション結果

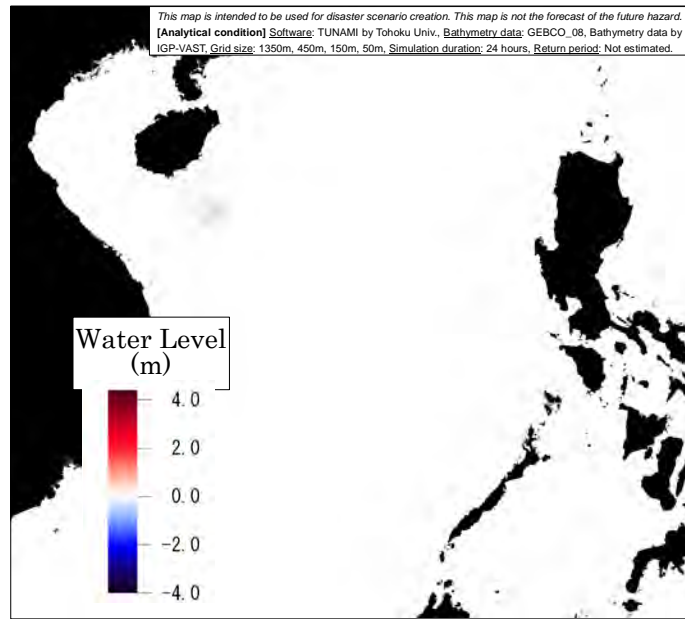


図 A.2.23 鉛直変位 (Scenario 4)

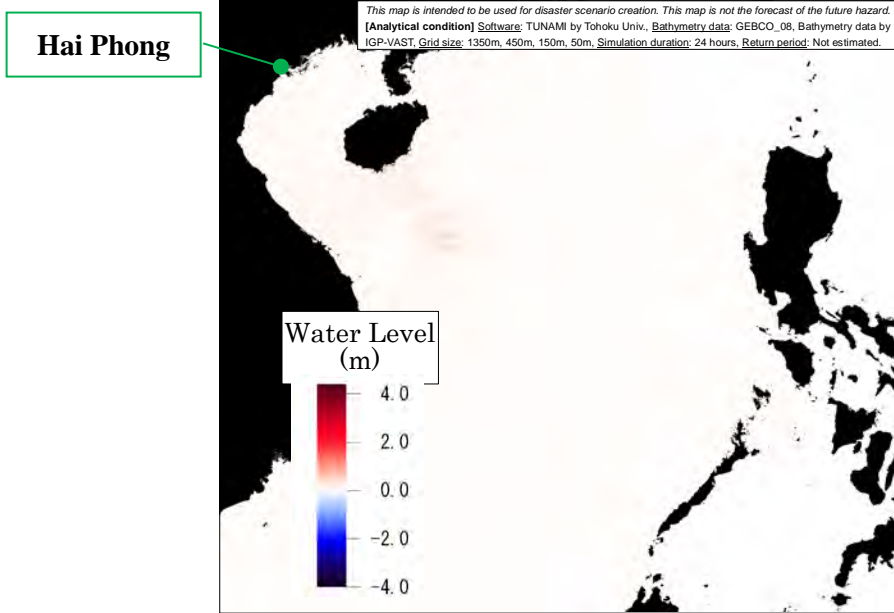


図 A.2.24 最大津波波高 (Scenario 4)

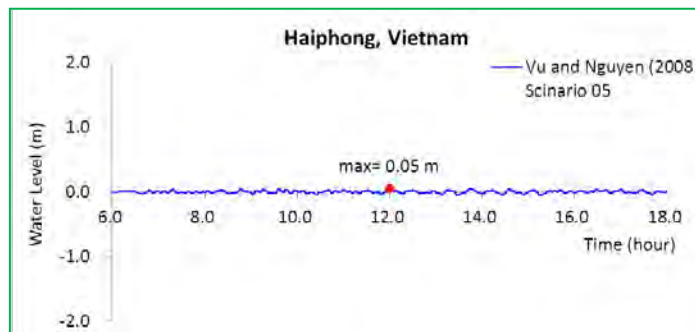


図 A.2.25 ハイフォンにおける津波波形 (Scenario 4)

Scenario 5 のシミュレーション結果

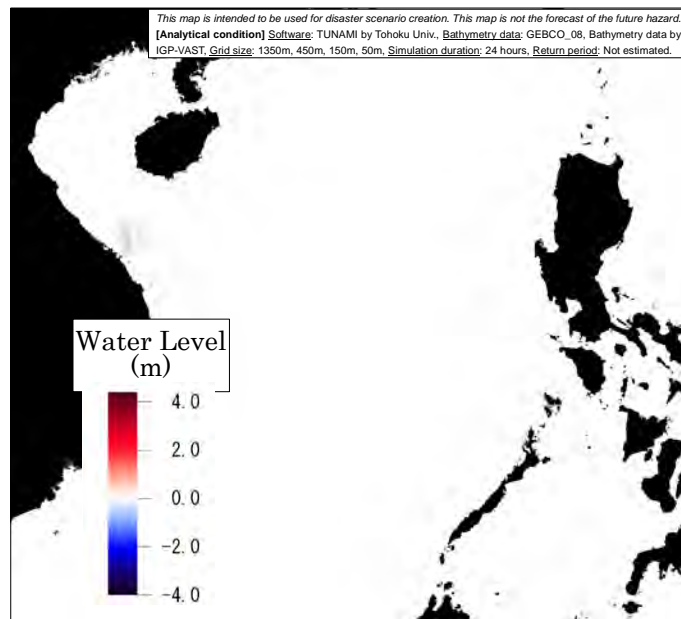


図 A.2.26 鉛直変位 (Scenario 5)

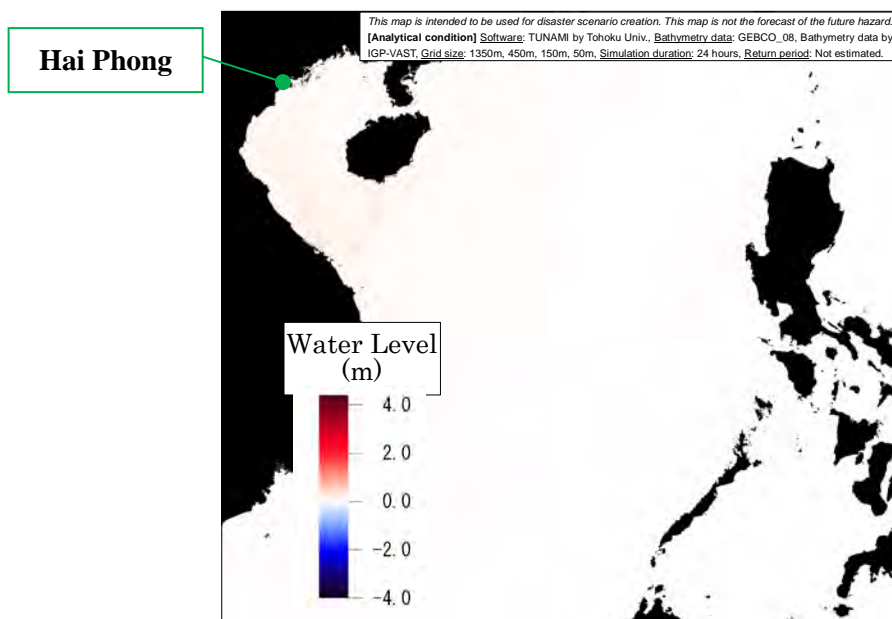


図 A.2.27 最大津波波高 (Scenario 5)

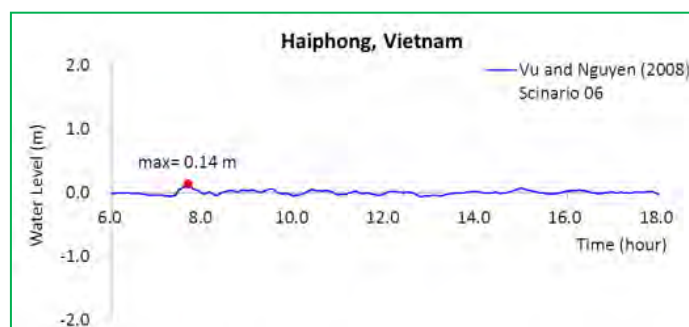


図 A.2.28 ハイフォンにおける津波波形 (Scenario 5)

Scenario 6 のシミュレーション結果

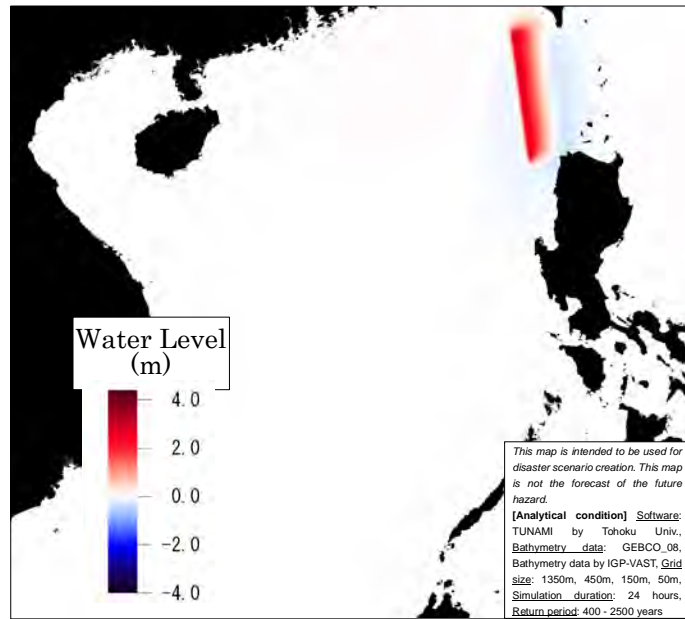


図 A.2.29 鉛直変位 (Scenario 6)

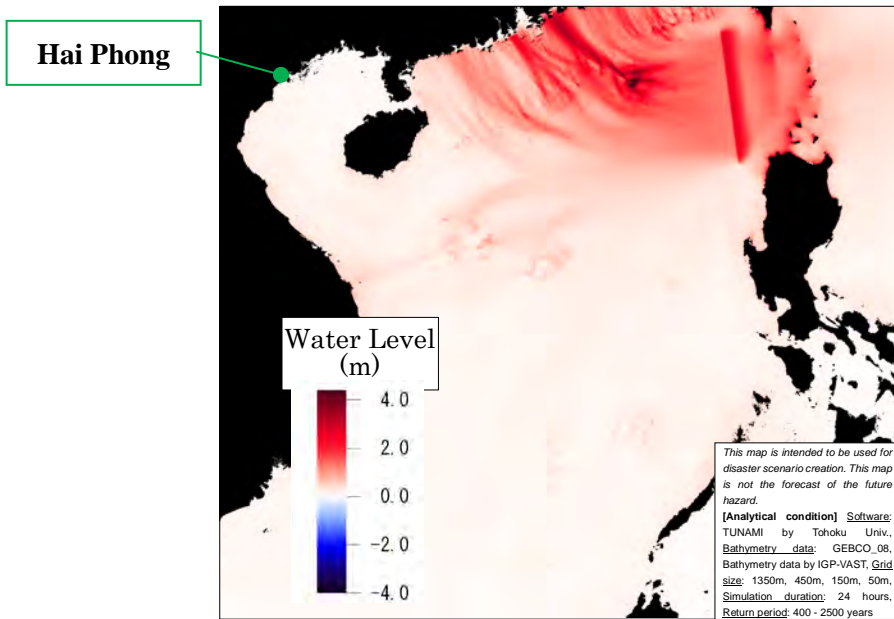


図 A.2.30 最大津波波高 (Scenario 6)

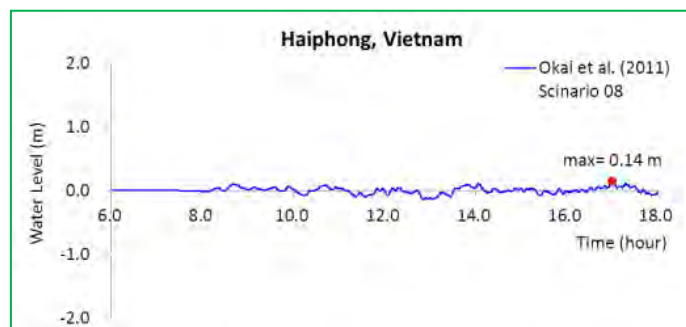


図 A.2.31 ハイフォンにおける津波波形 (Scenario 6)

Scenario 7 のシミュレーション結果

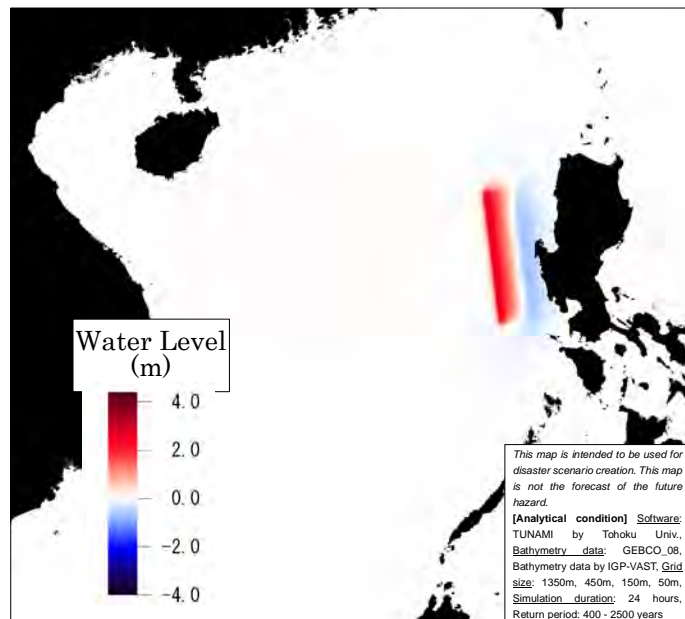


図 A.2.32 鉛直変位 (Scenario 7)

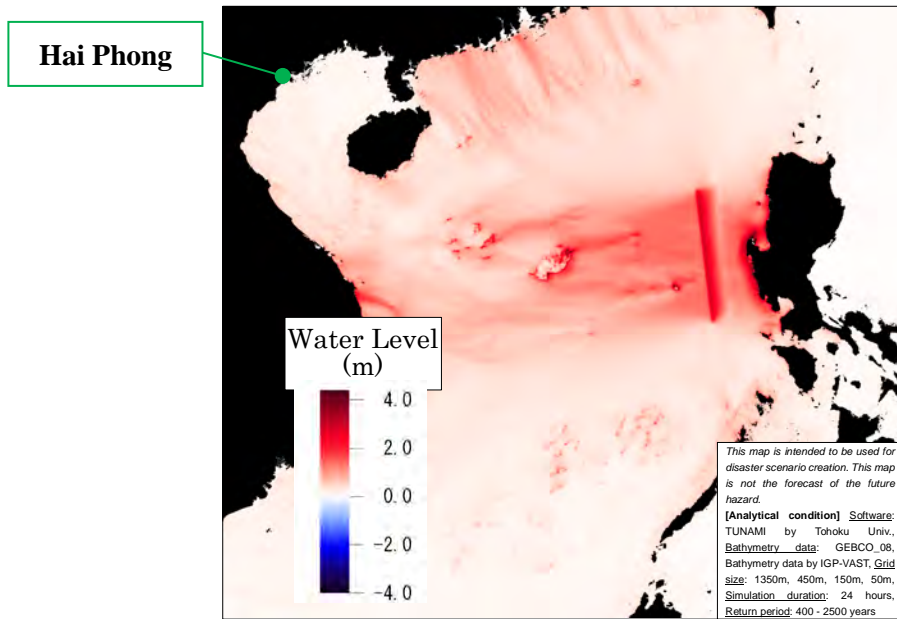


図 A.2.33 最大津波波高 (Scenario 7)

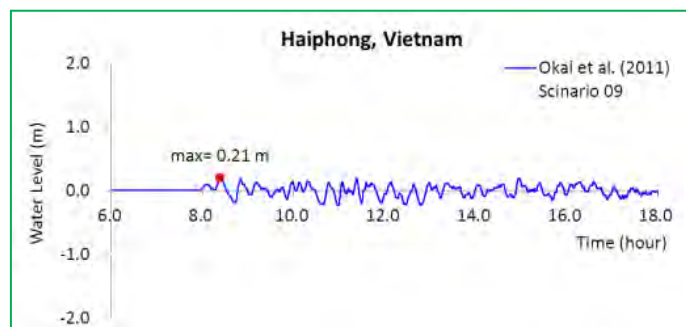


図 A.2.34 ハイフォンにおける津波波形 (Scenario 7)

Worst Case Scenario のシミュレーション結果

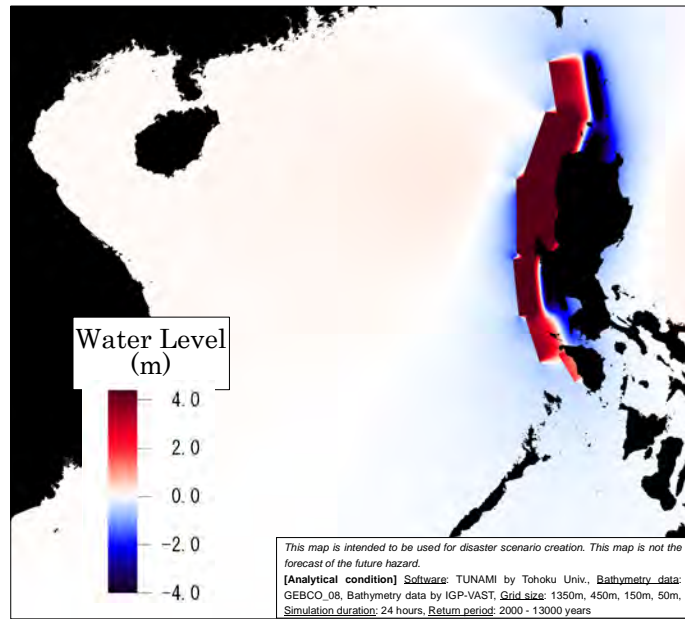


図 A.2.35 鉛直変位 (Worst Case Scenario)

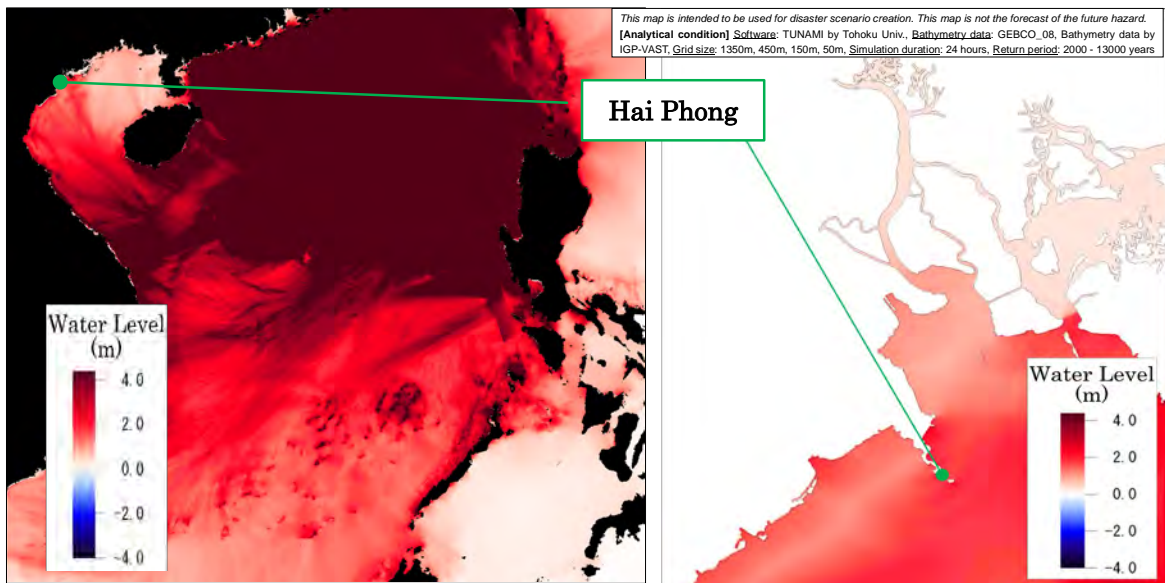


図 A.2.36 最大津波波高 (Worst Case Scenario)

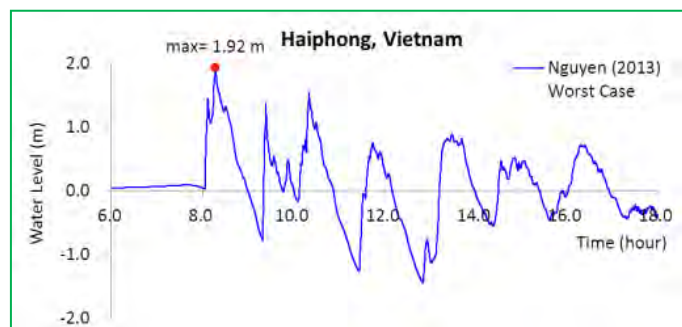


図 A.2.37 ハイフォンにおける津波波形 (Worst Case Scenario)

A.2.6 解析結果の評価

(1) 津波の再来周期について

津波に関しては、地震のような確率論的な評価手法は確立していない。これは、地震動の計算には、距離とマグニチュードだけを用いて簡易的に計算する手法が存在するのに対し、津波の場合は海底地形、海岸地形の影響が大きいため、対応する簡易な計算手法が存在しないためである。したがって、他のハザードのように確率を先に定めた解析はできず、既存文献で設定された断層モデルについて津波シミュレーションを行い、当該地震の再来周期を地震カタログを用いて別途推定した。今回の解析は確率論的な解析ではなく、既存断層モデルでの津波の発生確率を評価したものである。

(2) 海底地形データについて

今回の解析では、無償で入手できる約 1km メッシュの海底地形データを用いた。沖合のデータとしては十分活用できる品質であると思われる。海岸付近では 50m メッシュ程度の詳細データが必要であり、今回は海図、海底地形図をデジタイズして使用した。詳細な海底地形情報は、地域によっては入手が難しかったり存在しない場合もあるので、シミュレーションのネックとなりうる。

(3) 遡上について

今回は、陸上遡上のシミュレーションをしていない。遡上のシミュレーションのためには精度の高い標高データ、堤防などの構造物の高さ、土地利用、建物分布のデータが必要であり、また、精度の高い解析には高い技術レベルが求められる。広域 BCP のためのシナリオ作成目的としてはハードルが高いと思われる。

参考文献

- 1) IUGG/IOC Time Project: Numerical Method of Tsunami Simulation with the Leap-frog Scheme, IOC Manuals and Guides No.35, UNESCO 1997
http://www.jodc.go.jp/info/ioc_doc/Manual/122367eb.pdf
- 2) Imamura, Yalciner and Ozyurt (2006): TSUNAMI MODELLING MANUAL (TUNAMI model)
<http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/E/projects/manual-ver-3.1.pdf>
- 3) Tsunami Dictionary (Japanese) (2007) : Edited by Shuto, Imamura, Koshimura, Satake, Matsutomi, Asakura Publishing Co., Ltd
- 4) Kaiser, Scheele1, Kortenhaus, Løvholt, Romer, Leschka (2011): The influence of land cover roughness on the results of high resolution tsunami inundation modeling, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 2521–2540
<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/2521/2011/nhess-11-2521-2011.pdf>
- 5) Mansinha, Smilie (1971): The Displacement Fields of Inclined Faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440
http://ceeserver.cee.cornell.edu/pll-group/doc/Mansinha_Smylie_1971.pdf

- 6) Okada (1992): Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 1018-1040.
- 7) COMCOT, Cornell University
http://ceeserver.cee.cornell.edu/pll-group/comcot_fault.htm
- 8) Program to calculate deformation due to a fault model DC3D0 / DC3D
http://www.bosai.go.jp/study/application/dc3d/DC3Dhtml_E.html
- 9) Utsu (2001): *Seismology*, 3rd edition (Japanese), Kyoritsu Shuppan Co., Ltd.
- 10) EMILE A. OKAL, COSTAS E. SYNOLAKIS, and NIKOS KALLIGERIS (2011): Tsunami Simulations for Regional Sources in the South China and Adjoining Seas, *Pure and Applied Geophysics* 168 (2011), 1153–1173
- 11) Vu Thanh Ca1 and Nguyen Dinh Xuyen (2008): Tsunami risk along Vietnamese coast, *Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, No. 23, November 2008
- 12) Nguyen Hong Phuong, Vu Ha Phuong, and Pham The Truyen (2013): Simulation of a Worst Case Tsunami Scenario from the Manila Trench to Vietnam, *Joint Symposium on Seismic Hazard Assessment - Sendai, Japan, 17 –19 June, 2013*
- 13) Earthquake Impact Reduction Study for Metropolitan Manila, Republic of the Philippines Final Report (2004): Japan International Cooperation Agency (JICA), Metropolitan Manila Development Authority (MMDA), and Philippine Institute of Volcano and Seismology (PHIVOLCS), Pacific Consultants International, OYO International Corporation, PASCO Corporation

A.3 洪水災害のアセスメント

A.3.1 検討方針

既往の氾濫実績やヒアリング調査の結果から、Hai Phong 周辺の浸水は内水氾濫が主な原因であり、Red River からの氾濫は発生しないと言われている（現在の Red River の治水安全度は 1/100 相当）。このため、本調査では内水氾濫解析を実施する。

A.3.2 想定外力規模の設定

洪水災害対策において想定する外力（確率規模）は、政府及び自治体の方針、住民の意向、計画の実現可能性などを勘案して設定される。本検討では既往最大程度、1/50、1/100、1/200 の 4 ケースとする。この確率は、他の災害種（地震、津波、高潮）と整合を図ったものである。

A.3.3 降雨解析

Hai Phong 周辺の 3 箇所の降雨観測所のデータを入手した。観測所の位置を下図に示す。入手したデータは日最大雨量で、観測期間は 1961 年から 2010 年の 50 年である。3 つの観測所のうち Phu Lien 観測所の降雨データを用いて、確率統計処理を行う。

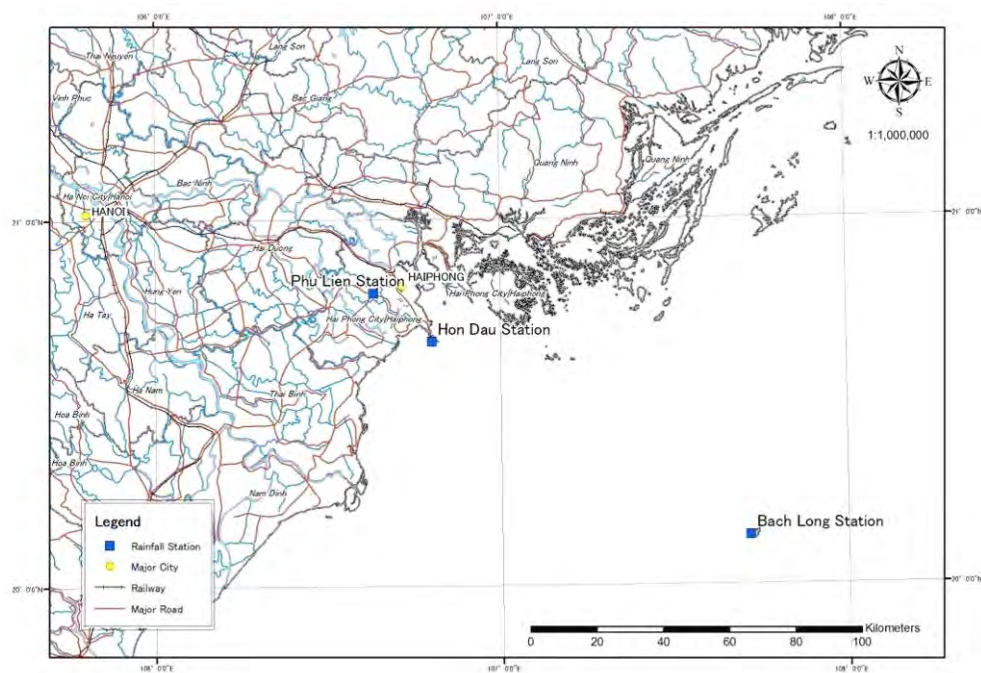
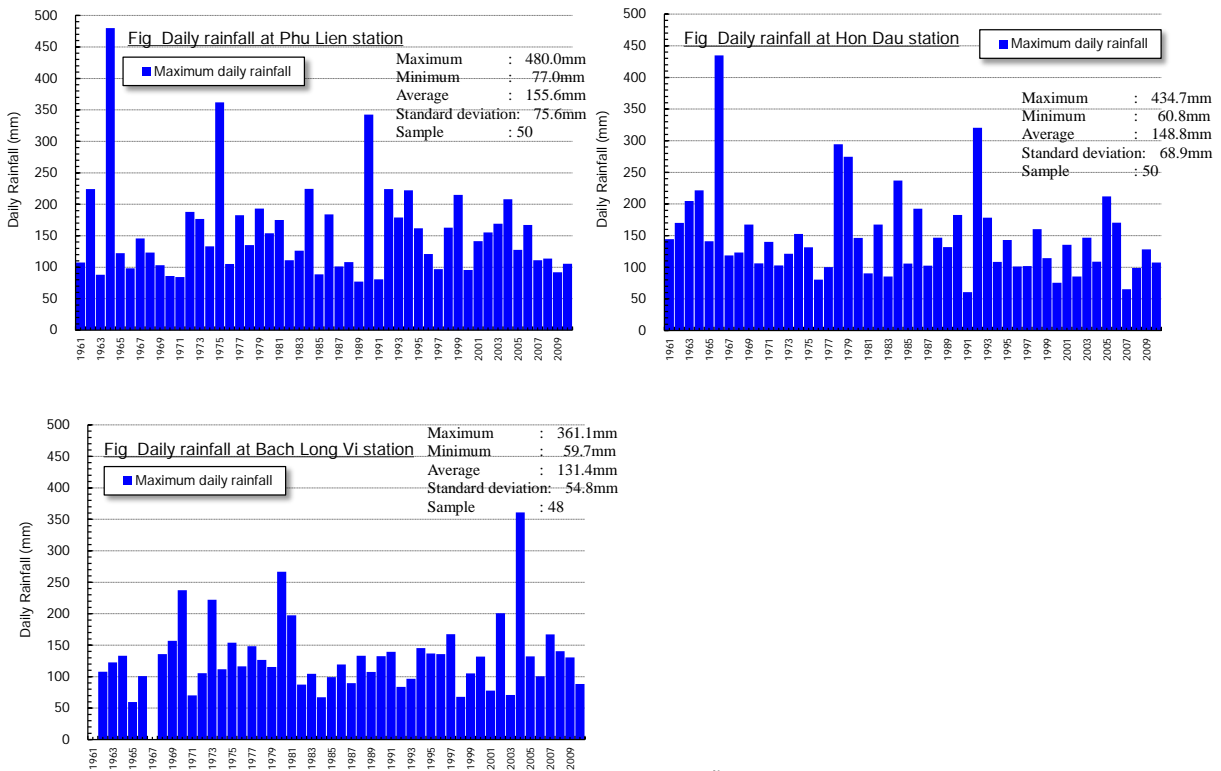


図 A.3.1 降雨観測所位置図（本調査で収集した観測所に限る）

確率水文学の計算条件は下表の通りである。

表 A.3.1 確率水文学の計算条件

No	項目	内容
1	解析ソフト	水文統計ユーティリティ Ver.1.5 ¹
2	標本	Phu Lien 観測所 日最大雨量 1961年から2010年まで50年分 毎年値を採用
3	確率密度関数	13モデル 指数分布、グンベル分布、平方根指数型最大値分布、一般化極値分布(Gev)、対数ピアソンIII型分布(実数空間法)、対数ピアソンIII型分布(対数空間法)、岩井法、石原・高瀬法、対数正規分布3母数クォンタイル法、対数正規分布3母数(Slade II)、対数正規分布2母数(Slade I, L 積率法)、対数正規分布2母数(Slade I, 積率法)、対数正規分布4母数(Slade IV, 積率法)
4	プロットイング・ポジション	カナンプロット ($\alpha=0.4$) ※最も一般的に採用されているプロットイング・ポジション公式
5	評価方法	SLSC (標準最小二乗規準) が 0.04 以下で、相関係数が高く、かつ Jack Knife 推定誤差が小さい確率密度関数を採用する。



出典：Ministry of Natural Resource and Environment
National Hydro-Meteorological Service

図 A.3.2 最大日雨量データ

¹ 一般財団法人 国土技術研究センター <http://www.jice.or.jp/sim/t1/200608150.html>

表 A.3.2 確率統計処理結果

項目	確率密度関数	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
X-COR (99%)		0.979	0.955	0.976	0.988	—	0.988	—	—	0.988	—	—	—	—
P-COR (99%)		0.996	0.99	0.994	0.995	—	0.996	—	—	0.996	—	—	—	—
SLSC (99%)		0.046	0.071	0.056	0.028	—	0.027	—	—	0.022	—	—	—	—
対数尤度		-265.7	-274.8	-270.8	-270.1	—	-269.1	—	—	-268.7	—	—	—	—
pAIC		535.4	553.6	545.7	546.2	—	544.3	—	—	543.3	—	—	—	—
X-COR (50%)		0.961	0.952	0.966	0.978	—	0.988	—	—	0.977	—	—	—	—
P-COR (50%)		0.981	0.987	0.986	0.984	—	0.996	—	—	0.983	—	—	—	—
SLSC (50%)		0.076	0.135	0.109	0.053	—	0.053	—	—	0.057	—	—	—	—
確率水文量	確率年	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
	2	132.6	144.2	137.9	135.1	—	134.1	—	—	132.6	—	—	—	—
	3	163	173.1	162.3	160.6	—	160.1	—	—	159.3	—	—	—	—
	5	201.2	205.4	191.5	193.2	—	193.7	—	—	194.7	—	—	—	—
	10	253	245.8	231.2	241.4	—	243.8	—	—	247.5	—	—	—	—
	20	304.8	284.7	272.4	296.6	—	301	—	—	307	—	—	—	—
	30	335.1	307	297.5	332.9	—	338.5	—	—	345.4	—	—	—	—
	50	373.3	334.9	330.2	383.7	—	390.8	—	—	397.7	—	—	—	—
	80	408.5	360.5	361.6	436	—	444.5	—	—	450.1	—	—	—	—
	100	425.1	372.6	376.9	462.9	—	472	—	—	476.4	—	—	—	—
	150	455.5	394.5	405.5	515.7	—	525.7	—	—	526.8	—	—	—	—
	200	477	410.1	426.3	556.3	—	567	—	—	564.7	—	—	—	—
400	528.8	447.5	478.3	666.5	—	678.4	—	—	663.3	—	—	—	—	
JackKnife 推定値	確率年	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
	2	132.6	144.2	137.7	134.8	—	134.1	—	—	131.9	—	—	—	—
	3	163	173.1	162.2	160.6	—	160.5	—	—	159.1	—	—	—	—
	5	201.2	205.4	191.5	193.9	—	194.4	—	—	195.2	—	—	—	—
	10	253	245.8	231.4	243	—	244.2	—	—	249.2	—	—	—	—
	20	304.8	284.7	272.9	298.8	—	300	—	—	309.8	—	—	—	—
	30	335.1	307	298.1	335.2	—	335.9	—	—	348.7	—	—	—	—
	50	373.3	334.9	331.1	385.3	—	384.9	—	—	401.6	—	—	—	—
	80	408.5	360.5	362.6	436.1	—	434.1	—	—	454.3	—	—	—	—
	100	425.1	372.6	378	461.9	—	458.8	—	—	480.7	—	—	—	—
	150	455.5	394.5	406.7	511.5	—	506.4	—	—	531	—	—	—	—
	200	477	410.1	427.6	549.1	—	542.1	—	—	568.7	—	—	—	—
400	528.8	447.5	480	647.8	—	635.4	—	—	666.3	—	—	—	—	
JackKnife 推定誤差	確率年	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
	2	7.5	9.1	8	8.5	—	8.3	—	—	7.7	—	—	—	—
	3	12	13.7	11.1	11.1	—	11	—	—	10.6	—	—	—	—
	5	18.5	19.3	15.1	15.1	—	15.6	—	—	15.9	—	—	—	—
	10	27.8	26.5	21	23.9	—	25.4	—	—	26.7	—	—	—	—
	20	37.2	33.5	27.5	38.7	—	40.8	—	—	42.2	—	—	—	—
	30	42.8	37.6	31.5	50.9	—	52.8	—	—	53.5	—	—	—	—
	50	49.8	42.7	36.8	70.7	—	71.7	—	—	70.3	—	—	—	—
	80	56.2	47.4	42	94	—	93.2	—	—	88.4	—	—	—	—
	100	59.3	49.6	44.6	107	—	105	—	—	97.9	—	—	—	—
	150	64.9	53.7	49.4	134.2	—	129.4	—	—	116.9	—	—	—	—
	200	68.8	56.5	52.9	156.6	—	149.1	—	—	131.6	—	—	—	—
400	78.4	63.4	61.9	222.8	—	206.6	—	—	172.1	—	—	—	—	

注) '-'は計算が収束しないことを意味する。

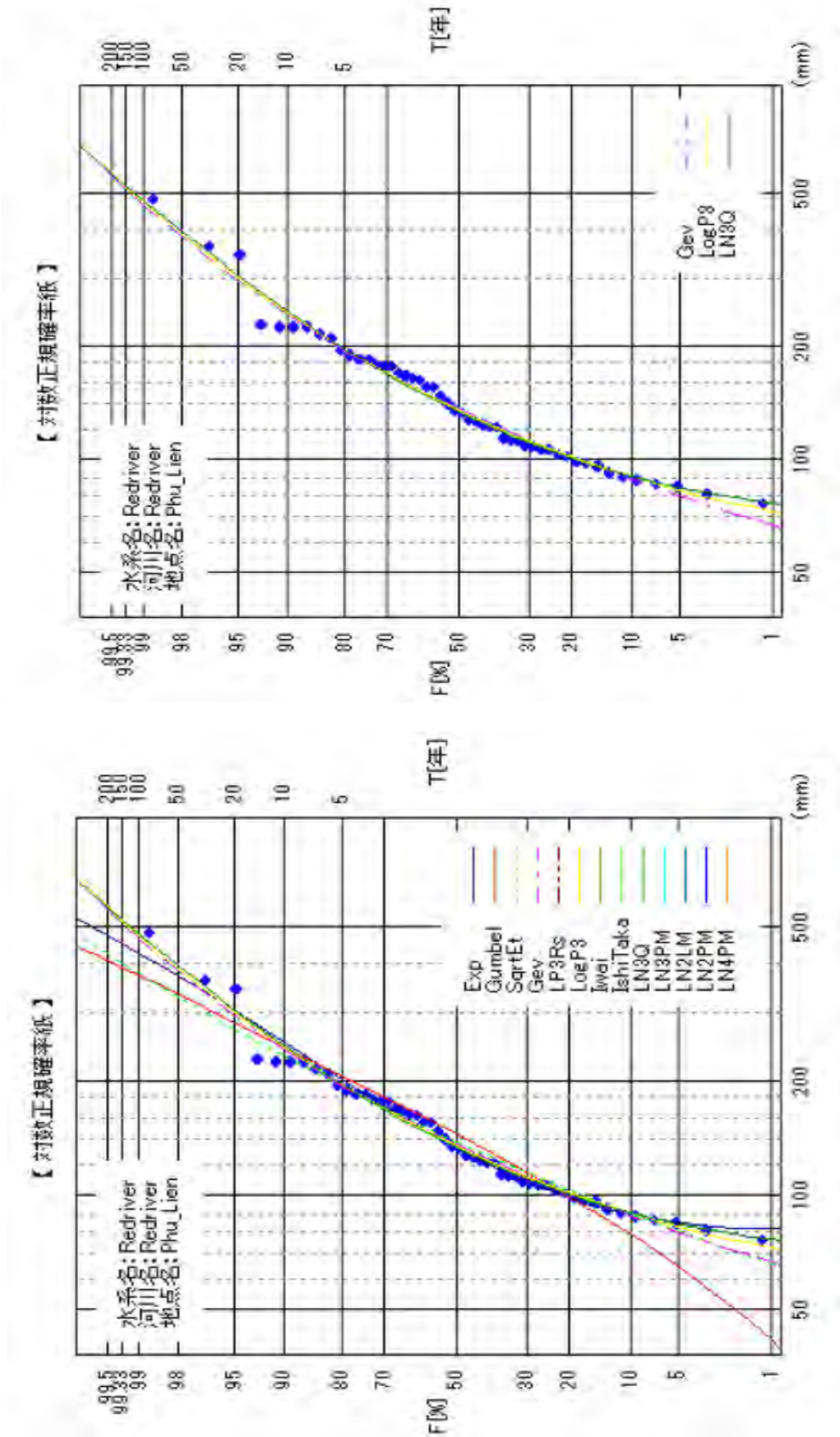


図 A.3.3 日最大日雨量-確率図 (対数正規確率紙にプロット)

解析の結果、SLSC 値が 0.04 未満で、相関係数が高い確率密度関数は、一般化極値分布 (Gev)、対数ピアソン III 型分布(対数空間法,logP3)、対数正規分布 3 母数クォンタイル法 (LN3Q) の 3 関数である。この 3 関数の確率水文量も Jack Knife 推定誤差にも大きな差はない。図 A.3.3 の確率図から、LN3Q の適合度が最も良いことが目視により判断できることから、Phu Lien 観測所の降雨は、LN3Q を用いて評価することとした。確率規模別の最大日雨量は下表のとおりとなる。既往最大の日雨量は 480mm (1964 年) であり、確率 1/100 に相当する。

表 A.3.3 Phu Lien 観測所の確率規模別最大日雨量

確率年	最大日雨量
2	132.6
3	159.3
5	194.7
10	247.5
20	307
30	345.4
50	397.7
80	450.1
100	476.4
150	526.8
200	564.7
400	663.3

A.3.4 氾濫解析

解析の条件は下表の通りとする。解析の結果は次頁に示す。

表 A.3.4 内水氾濫解析の計算条件

No	項目	内容
1	解析ソフト	MIKE-21 (DHI 社 ²)
2	計算手法	全流域に計画降雨高を与え、氾濫流の動きを二次元不定流計算によって解析する。Red River からの溢水は考慮しない。
3	グリッドサイズ	500m
4	標高データ	ASTER30m グリッドを加工
5	堤内地粗度係数	一律 0.040
6	境界条件	低平地に該当するグリッドに計画降雨高を与える。 1/50 397.7mm/day 1/100 476.4mm/day 1/200 564.7mm/day 既往最大 480mm/day (1964 年) なお、降雨高全てが流出するわけではないため、流出率を設定し、低内地への流出率は 0.8 とした。丘陵地からの流出は、河川/水路へ流出するものとし、降雨高は与えないものとした。Google Earth で土地利用等を確認し、標高 200m 以上のグリッドは丘陵地とした。
7	蒸発量	4mm/day で設定
8	浸透量	個別に考慮しない。
9	排水路等	流域には雨水排水路等が張り巡らされており、氾濫水は水路を通して河川に排水される。本検討では、堤内地の水路状況を考慮し、1km ² あたり 5m ³ /s の排水を想定し、各グリッドから排水分の水量を差し引いている。

² Danish Hydraulic Institute, DHI <http://www.dhigroup.com/>

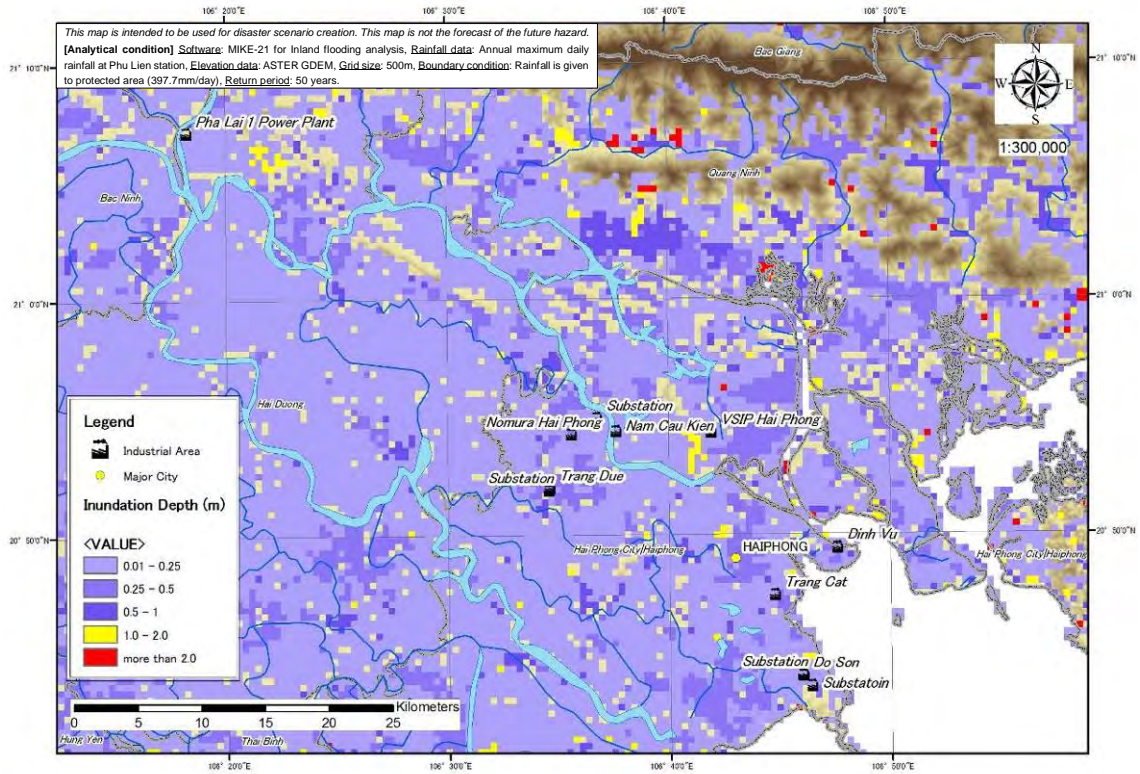


図 A.3.4 氾濫シミュレーション結果 最大浸水深 (降雨確率 1/50)

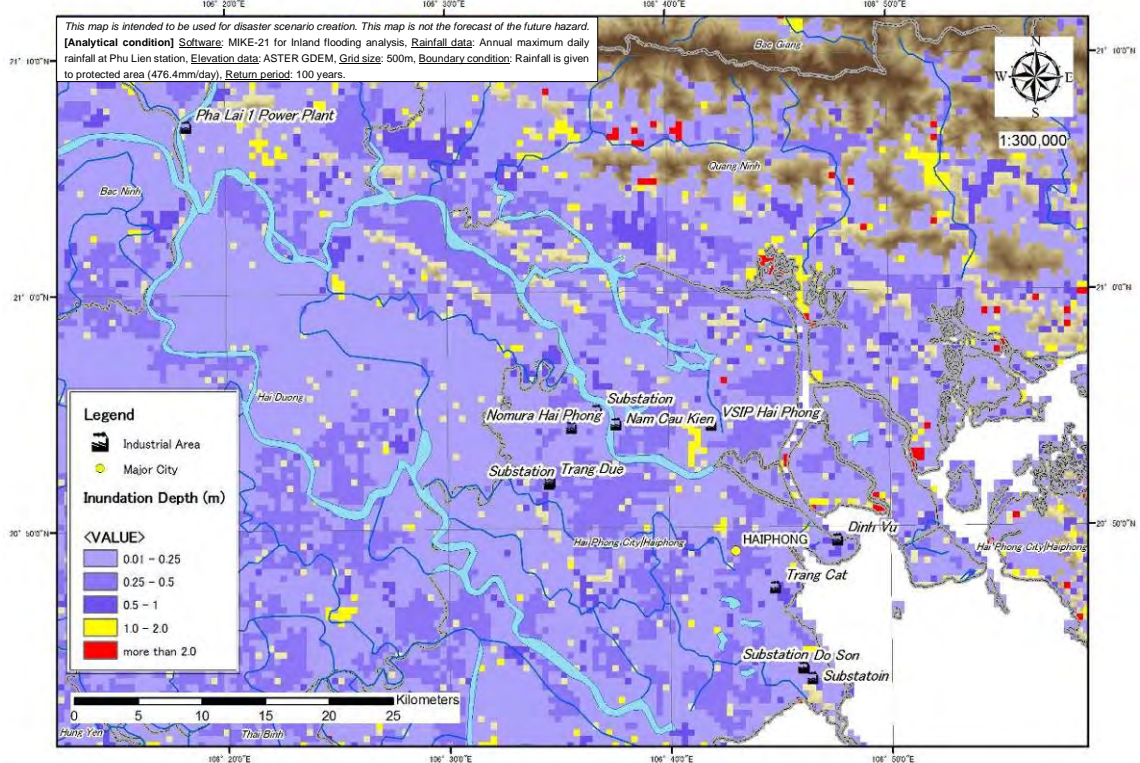


図 A.3.5 氾濫シミュレーション結果 最大浸水深 (降雨確率 1/100)

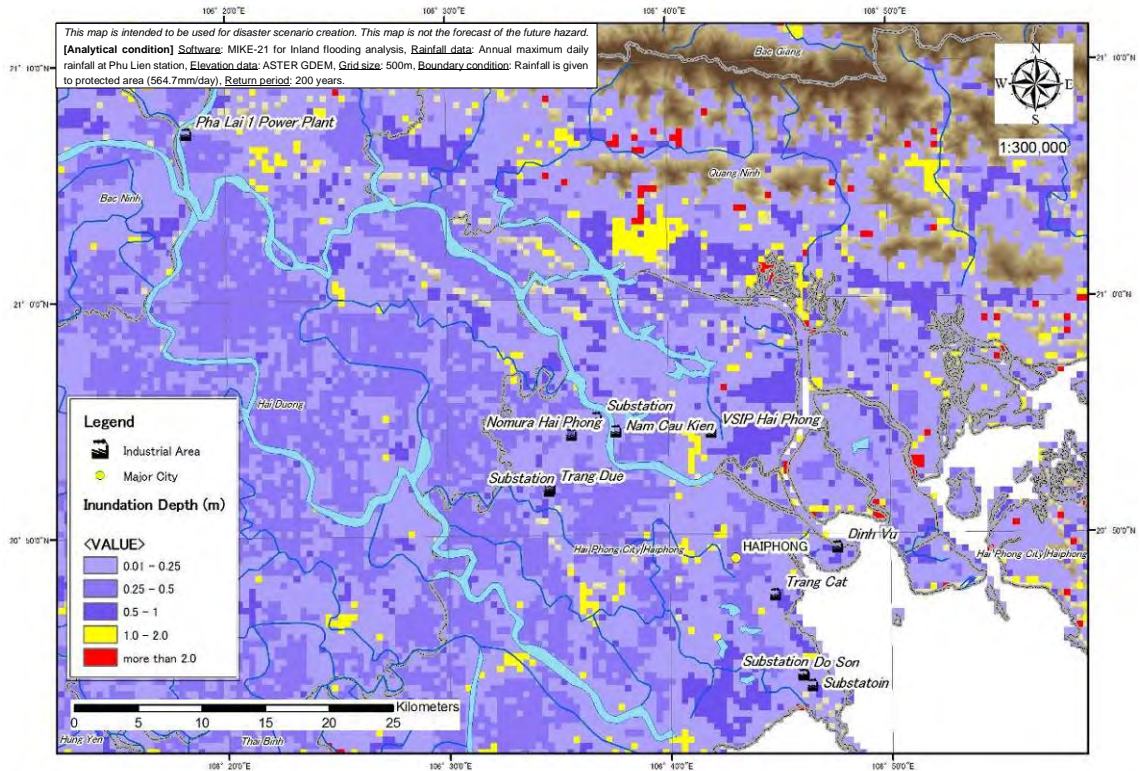


図 A.3.6 氾濫シミュレーション結果 最大浸水深 (降雨確率 1/200)

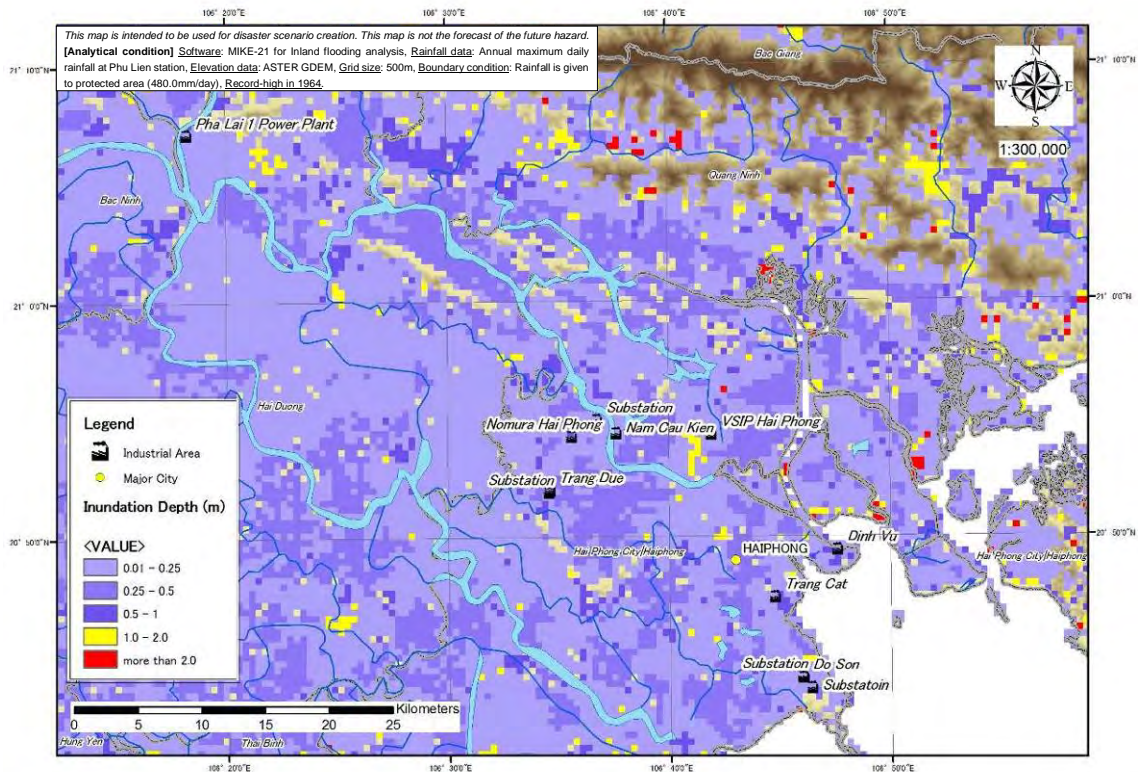
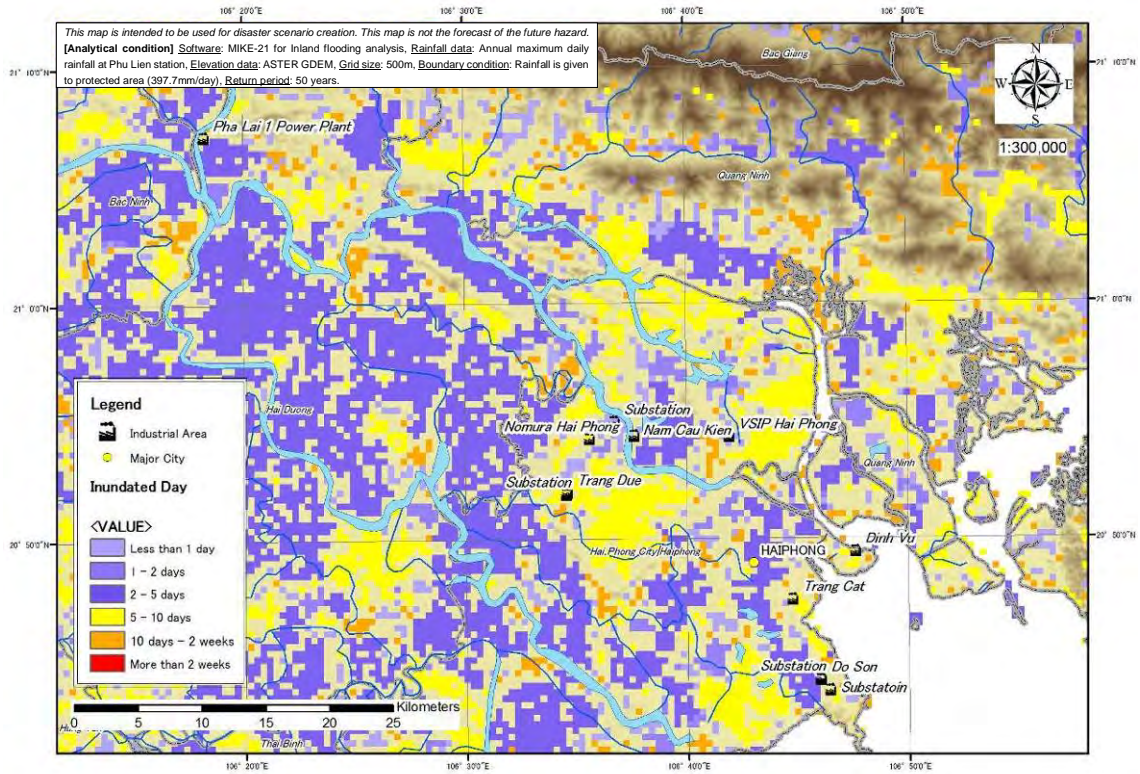
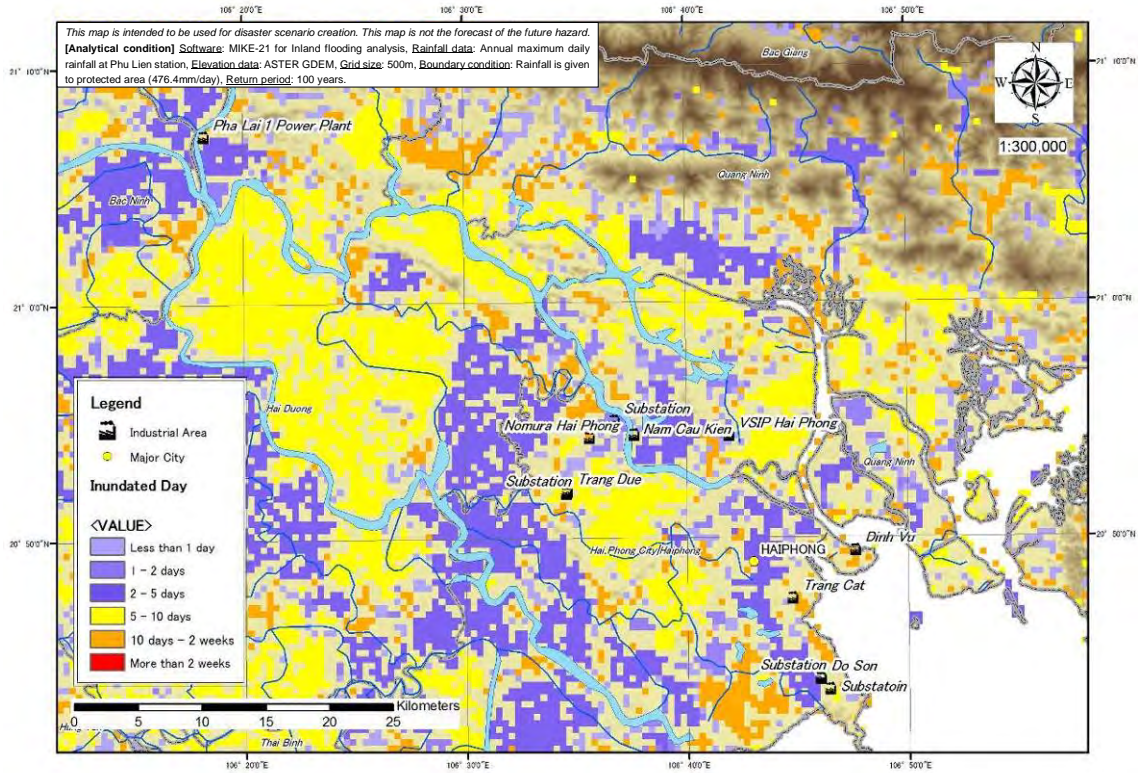


図 A.3.7 氾濫シミュレーション結果 最大浸水深 (既往最大 1964年)



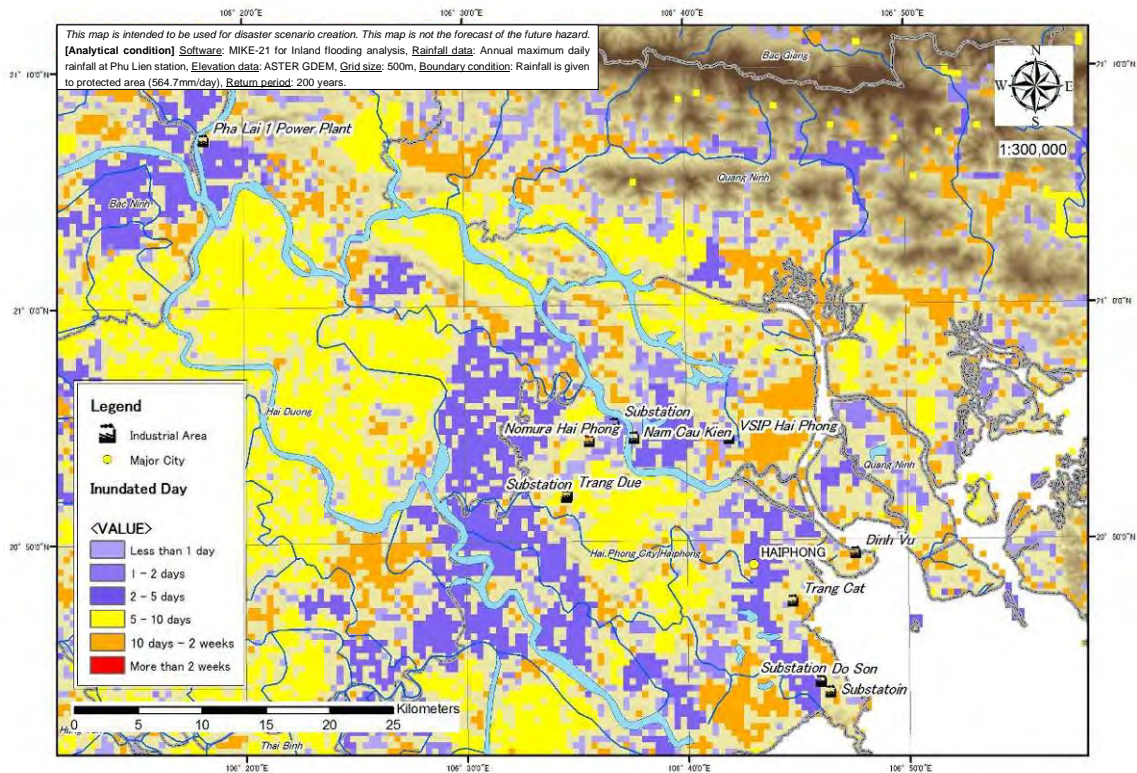
※水深 5cm 未満で湛水期間が 1 日未満のグリッドは非表示

図 A.3.8 氾濫シミュレーション結果 浸水期間 (降雨確率 1/50)



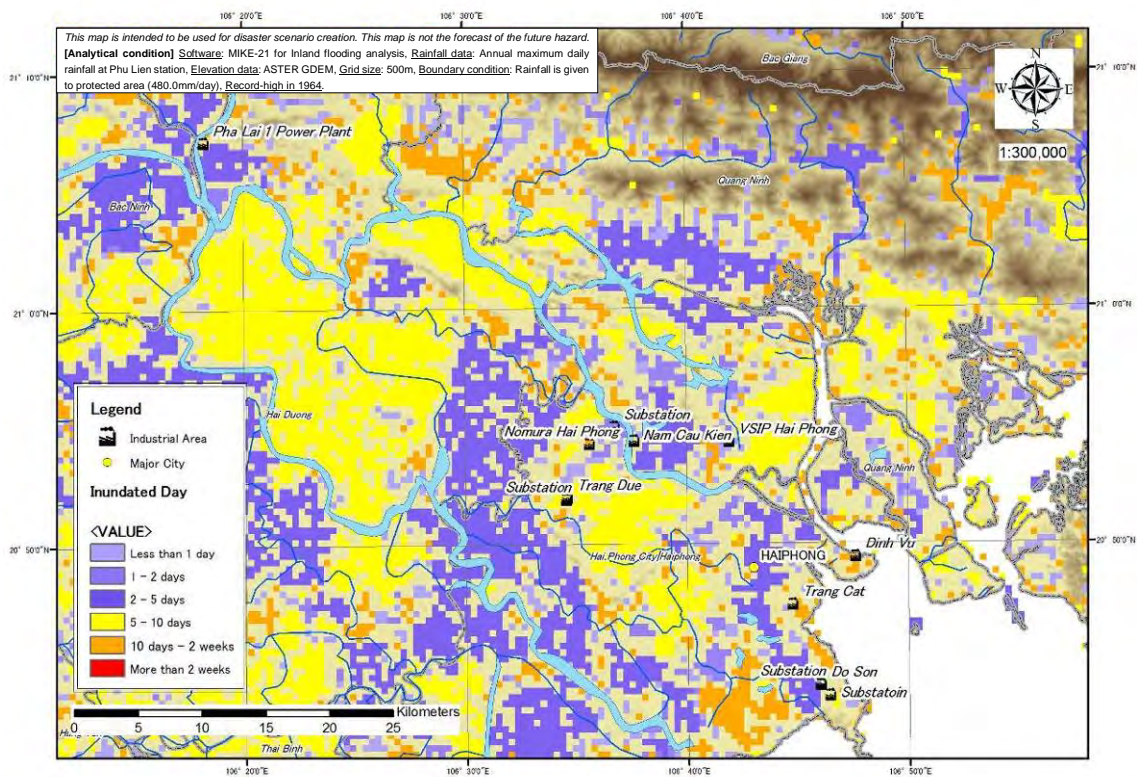
※水深 5cm 未満で湛水期間が 1 日未満のグリッドは非表示

図 A.3.9 氾濫シミュレーション結果 浸水期間 (降雨確率 1/100)



※水深 5cm 未満で湛水期間が 1 日未満のグリッドは非表示

図 A.3.10 氾濫シミュレーション結果 浸水期間 (降雨確率 1/200)



※水深 5cm 未満で湛水期間が 1 日未満のグリッドは非表示

図 A.3.11 氾濫シミュレーション結果 浸水期間 (既往最大 1964 年)

解析の結果、工業団地周辺で予想される最大浸水深は 50cm 未満である。湛水期間については、確率規模 1/200 において、Trang Due 工業団地周辺で 10 日未満の湛水が想定される。

ヒアリング調査によると、Hai Phong 周辺の過去の最大浸水深は 50～60cm 程度、防潮堰が完成する前の湛水期間が約 1 週間であったことから、本調査で構築したモデルによる解析結果は概ね妥当なものだと判断できる。

A.3.5 解析結果の評価

(1) シミュレーションの仮定

現地調査の結果から河川からの氾濫は考慮せず、降雨の影響のみを考慮した。この際、丘陵地の降雨は地面へ浸透もしくは河川に流出し、市街地の降雨のみを考慮した。降雨データは 1 地点での観測しか入手できなかったため、一様と仮定した。また、水路や排水ポンプは正常に機能すると仮定した。排水量に関しては、現地聞き取り調査による氾濫状況が再現できるように仮定した。

(2) 使用データと解析精度

上記のように、この解析ではデータの不足が多く、多くの仮定をおいて行っており、概略検討の位置づけである。ただし、氾濫の特徴は評価できており、シナリオ作成の目的には合致している。また、現地ヒアリングによって、実際の洪水による浸水期間などを調査し、シミュレーション結果と現実の整合を確認している。さらに詳細な検討のためには、河川、水路の測量、地形標高の調査、ポンプ排水能力の調査などが必要となり、かなりの資源を必要とする。

A.4 高潮災害のアセスメント

A.4.1 概要

高潮モデルにより対象範囲における高潮潮位を算定する。計算手順を図 A.4.1 に示す。データの収集、外力（台風規模）の設定、高潮モデルの構築（モデルの妥当性の検討）、想定台風による潮位計算からなる。

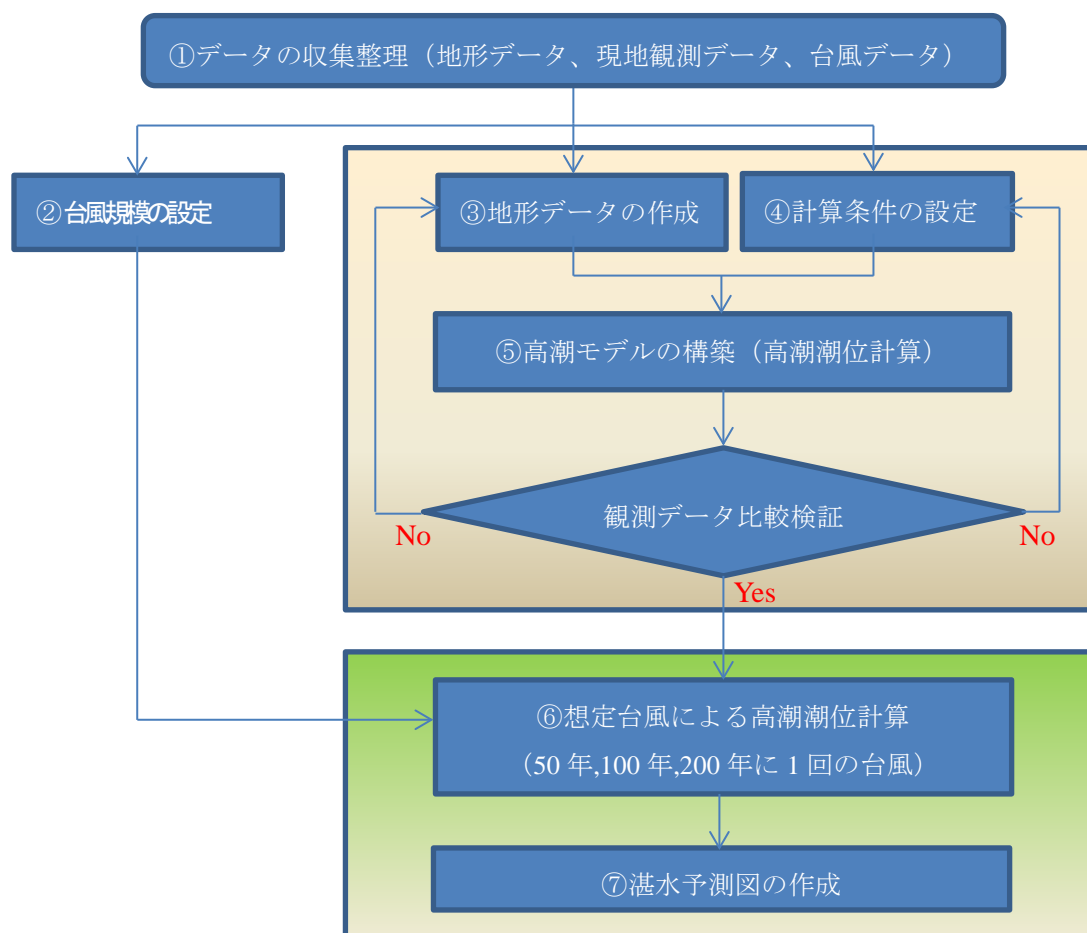


図 A.4.1 高潮シミュレーションの流れ

A.4.2 想定する外力の設定

想定する外力（確率規模）として、本調査では、50年、100年、200年確率規模の台風を想定し、それぞれの場合について高潮潮位計算を実施する。

A.4.3 高潮モデルについて

高潮（潮位偏差）の計算は、Princeton Ocean Model により計算する。本解析で使用する各モデルの概要及び入力データを表 A.4.1 に示す。

表 A.4.1 高潮潮位計算に用いるモデルの概要、入力データ

モデル、入力データ	概要
2次元台風モデル Myersの式(1954)	台風位置、台風中心気圧と最大風速半径データから、台風周辺の気圧分布を求める。この気圧分布を基に、傾度風を仮定し風速分布を求める。
高潮モデル Princeton Ocean Model(POM)	静力学モデルで、海底から海面までσ座標系で計算を行う。このため、太平洋など深さ数1000mの深海から水深10m以下の浅い海の流れを効率よく計算できる。モデルは無償で公開されている。
台風ベストトラック (気象庁台風センター)	1951年以降に観測した台風（熱帯低気圧）の中心位置、中心気圧、最大風速等を、後日再解析した、最終的な台風情報（確定値）である。
観測潮位データ (現地機関より収集)	モデルの構築、検証用データとして、高潮発生時の潮位観測データ（毎時）が必要である。また、高潮モデルでは、高潮偏差が算出されるため、潮位を算出するために天文潮位が必要となる。継続する5年以上の毎時データが望ましい。
地形データ GEBCO_08, ASTER GDEM	海底深さ、陸上地形のグリッドデータを作成する必要がある。今回の解析では、ネスティングを行うため、3領域で18",6",2"格子のデータを作成した。

A.4.4 台風規模の設定

台風のデータは、気象庁のベストトラックデータ（1951年～2013年）から対象範囲（図 A.4.2）を通過した台風を抽出し、台風の中心気圧の再現期待値（50年確率、100年確率、200年確率）を求めた。図 A.4.3 及び表 A.4.2 に結果を示す。

次に、対象範囲内で観測された各台風の中心気圧と最大風速半径の関係を推定した。推定された最大風速半径を表 A.4.3 に示す。

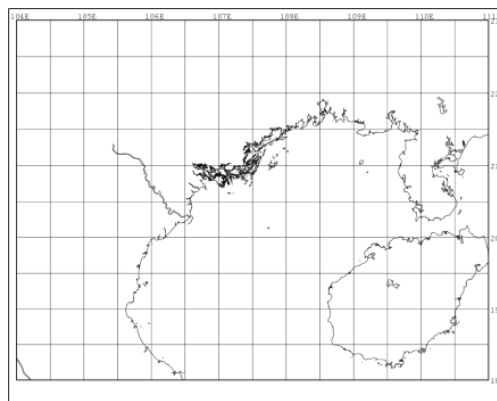


図 A.4.2 ハイフォン周辺に接近する台風の抽出範囲
(北緯 18.0 度～23.0 度，東経 104.0 度～111.0 度)

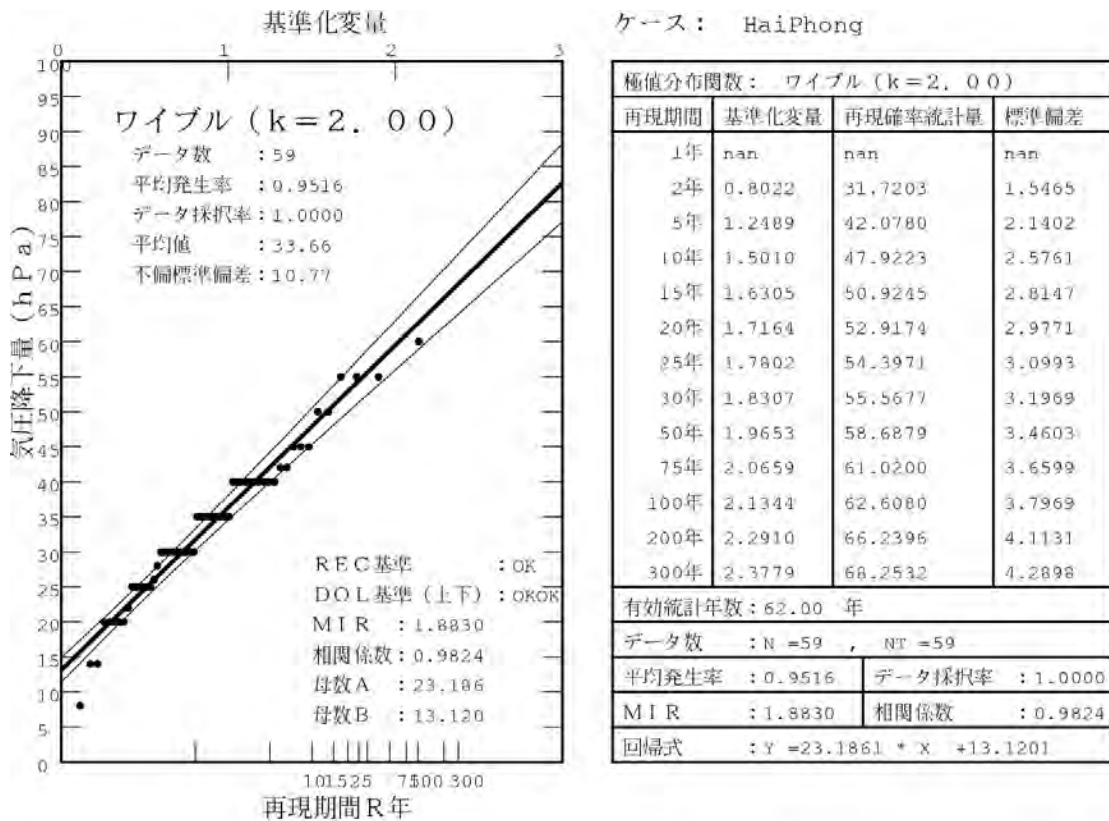


図 A.4.3 ハイフォン周辺に接近する台風の気圧降下量 (中心気圧の 1,010hPa との差) の確率分布

表 A.4.2 再現期間に対応する台風規模 (中心気圧)

再現期間	中心気圧
50年	951.3hPa
100年	947.7hPa
200年	943.8hPa

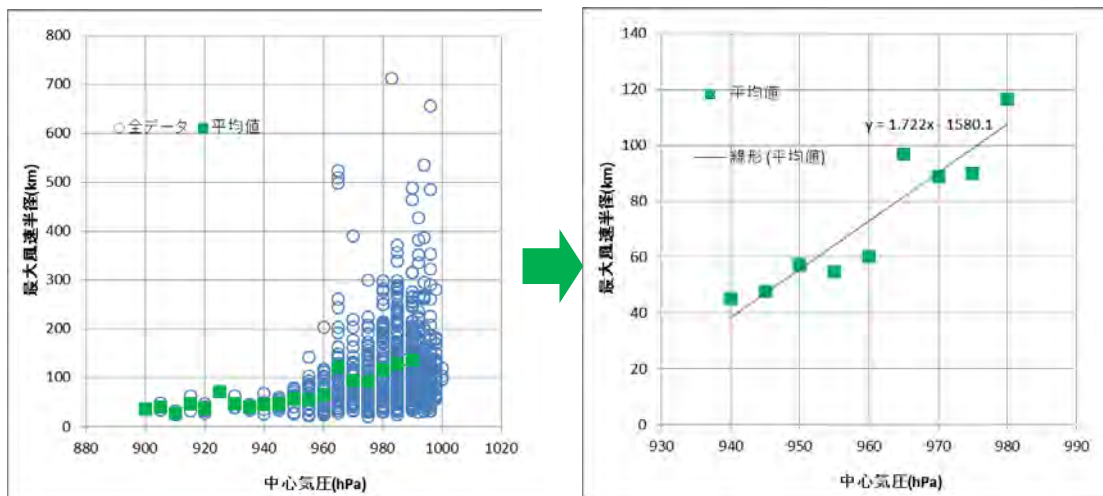


図 A.4.4 中心気圧と最大風速半径との関係
 (左: 全データ, 右: 中心気圧 980hPa 以下の台風を気圧ごとに平均)

表 A.4.3 台風を中心気圧と最大風速半径 (1/50, 1/100, 1/200)

再現期間	中心気圧	最大風速半径
50年	951.3hPa	58.1km
100年	947.7hPa	51.3km
200年	943.8hPa	45.1km

A.4.5 高潮モデルの構築と妥当性の検討

計算範囲は、計算の安定性と計算時間を勘案して、図 A.4.5 に示すとおり 3 領域（格子間隔はそれぞれ 18”, 6”, 2”）に設定する。また、現地観測点（HonDau Station）の位置を☆で示す。

検証事例は、ハイフォン周辺で高潮が発生した 2012 年台風 23 号（ソンティン）とした。台風の経路、位置を図 A.4.6 に示す。

HonDau Station における潮位の観測値と予測値の時系列を図 A.4.7 に示す。この事例では、実際の風速に比べて、2 次元台風モデルによる風速値が過小であった（予測値のピークが低く算定された）ため、観測値に合うように、補正係数を乗じることでモデルの再現性を確認した。その後の想定台風による高潮潮位計算でも、この補正係数を用いて風速値を作成した。

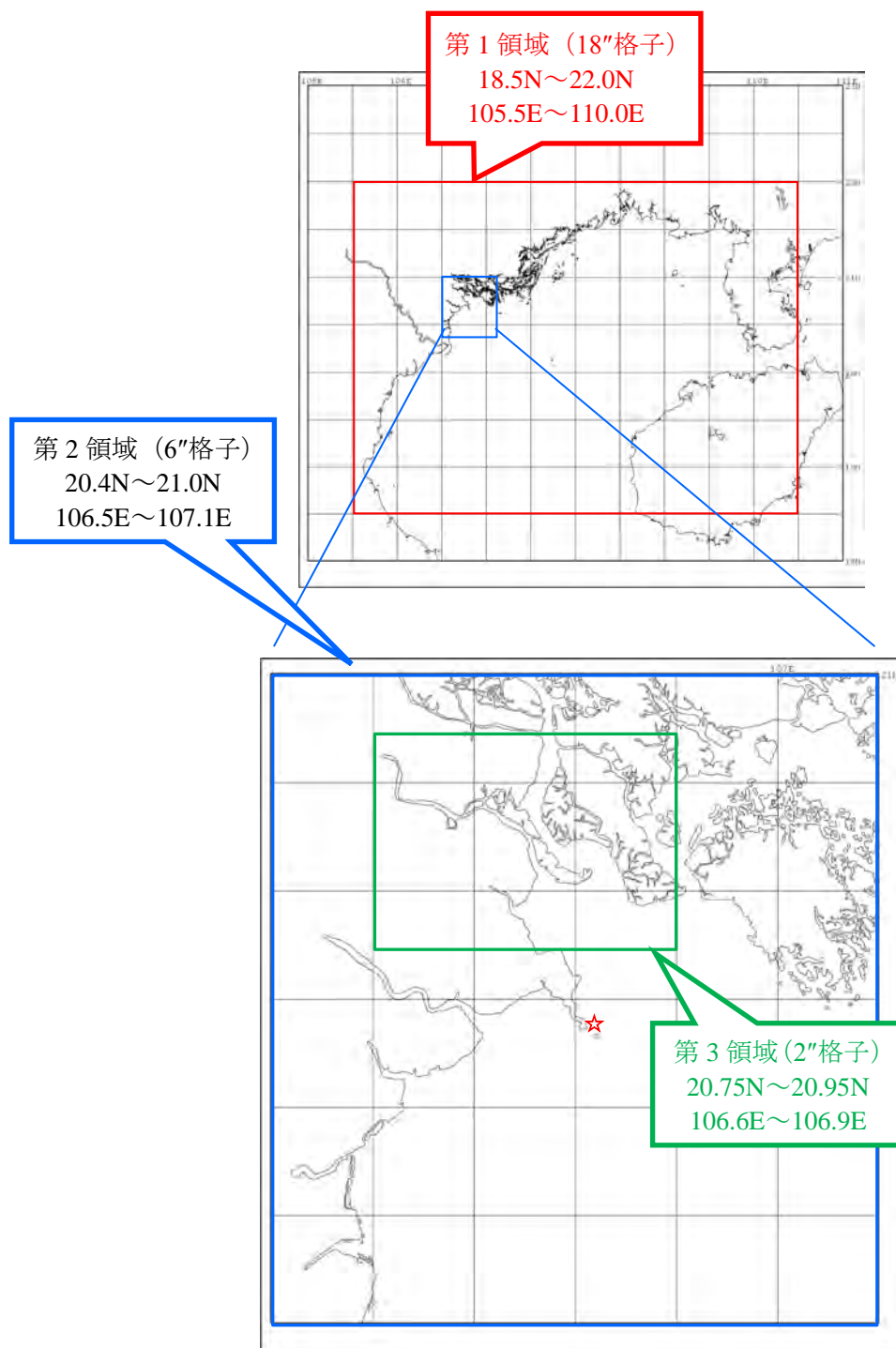


図 A.4.5 計算領域

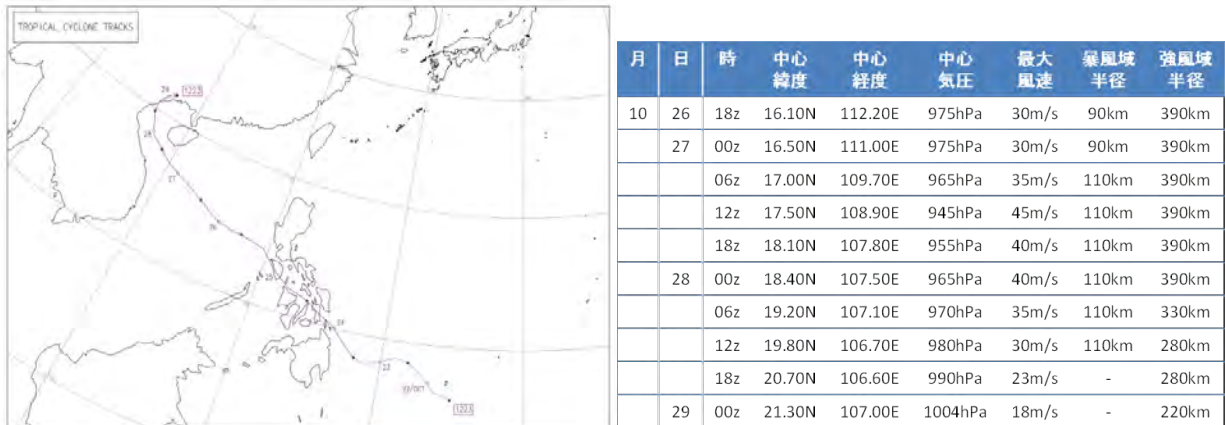


図 A.4.6 台風経路図 (2012年23号：台風ソンティン)

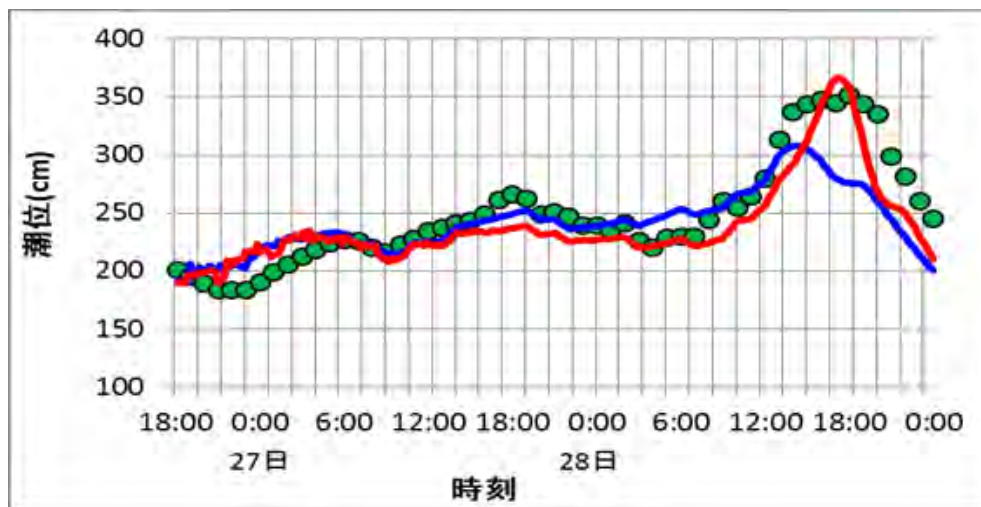


図 A.4.7 高潮モデルによる予測値と現地観測値との比較

台風23号：2012年10月27日18:00～28日24:00（現地時間）

丸印：観測値、青実線：予測値（風速補正前）、赤実線：予測値（風速補正後）

A.4.6 想定台風による高潮潮位の計算

想定台風による高潮潮位の計算を行うため、台風の経路（中心位置・速度）を設定する必要がある。台風は、海上では水蒸気の供給を受け、発達、勢力を維持できるが、上陸すると水蒸気の供給が途絶えること、陸地による地表面の摩擦の影響を受けるために勢力が弱くなる。このため、海南島を東から西へ通過する台風がハイフォンに大きな高潮被害を及ぼすとは考えにくい。そこで、検証事例とした2012年台風23号の経路を基に、ハイフォンを南から直撃する基準コースを作成し、基準コースに対して、最大風速半径だけ経度方向にずらした4コースについて高潮偏差を計算した。

想定台風に対する高潮潮位偏差を計算した結果を図A.4.9～図A.4.11に示す。いずれの規模の台風でも、ハイフォンを直撃する場合に高潮潮位が大きいことが確認できる。200年確率の台風では、海岸付近の最大潮位偏差は2.6mと予測された。

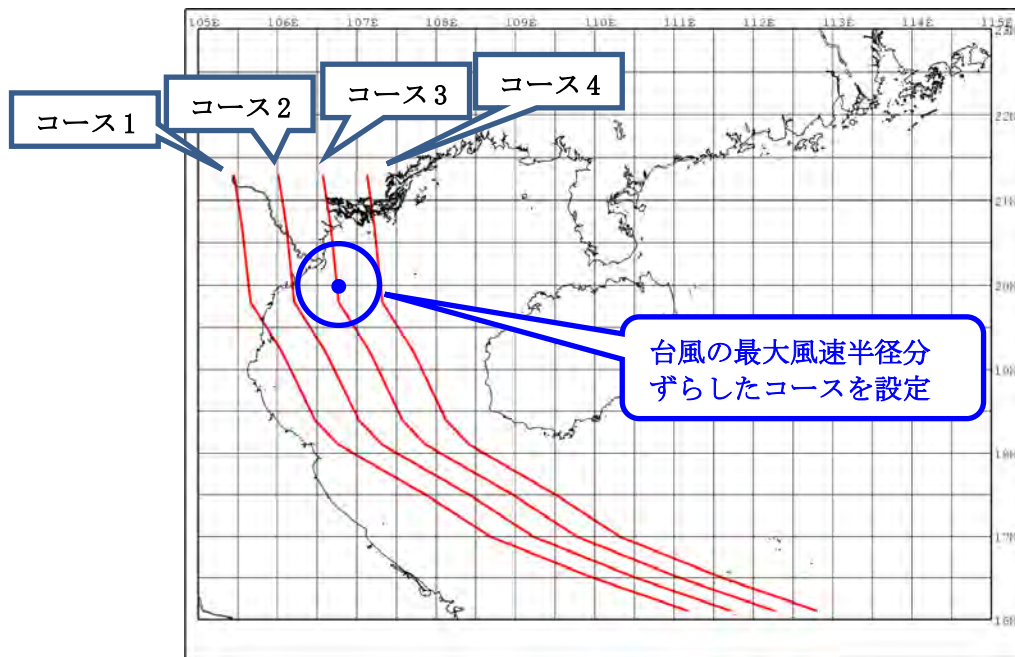


図 A.4.8 高潮計算を実施した台風経路

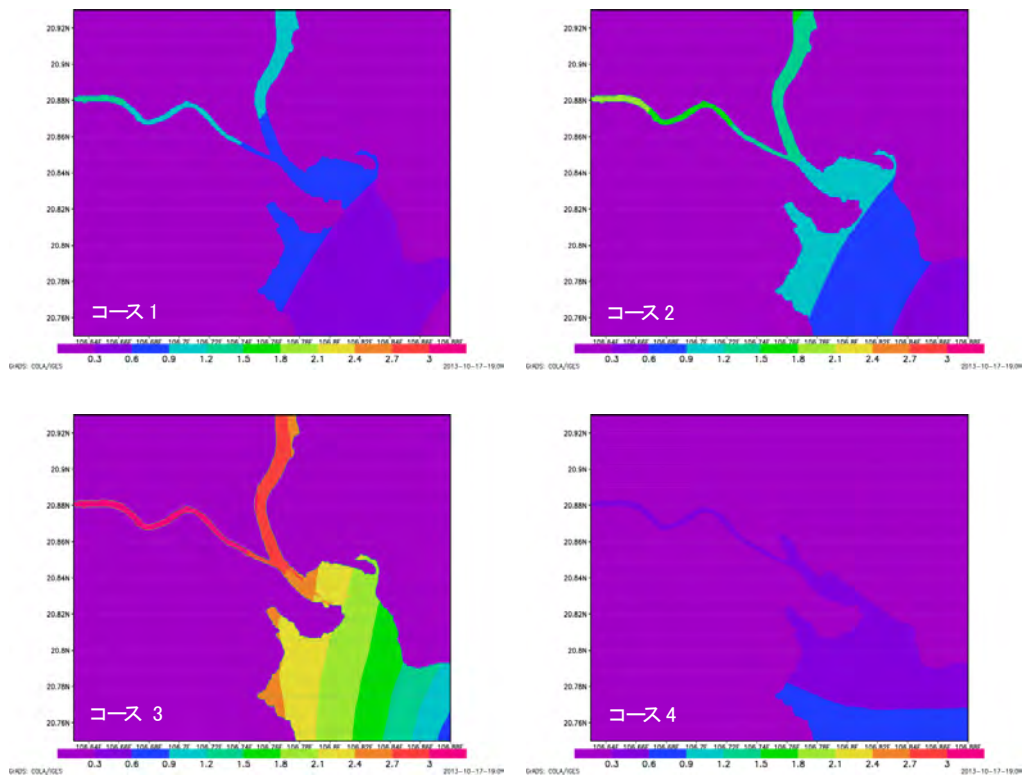


図 A.4.9 潮位偏差の最大値 (50年確率の台風)

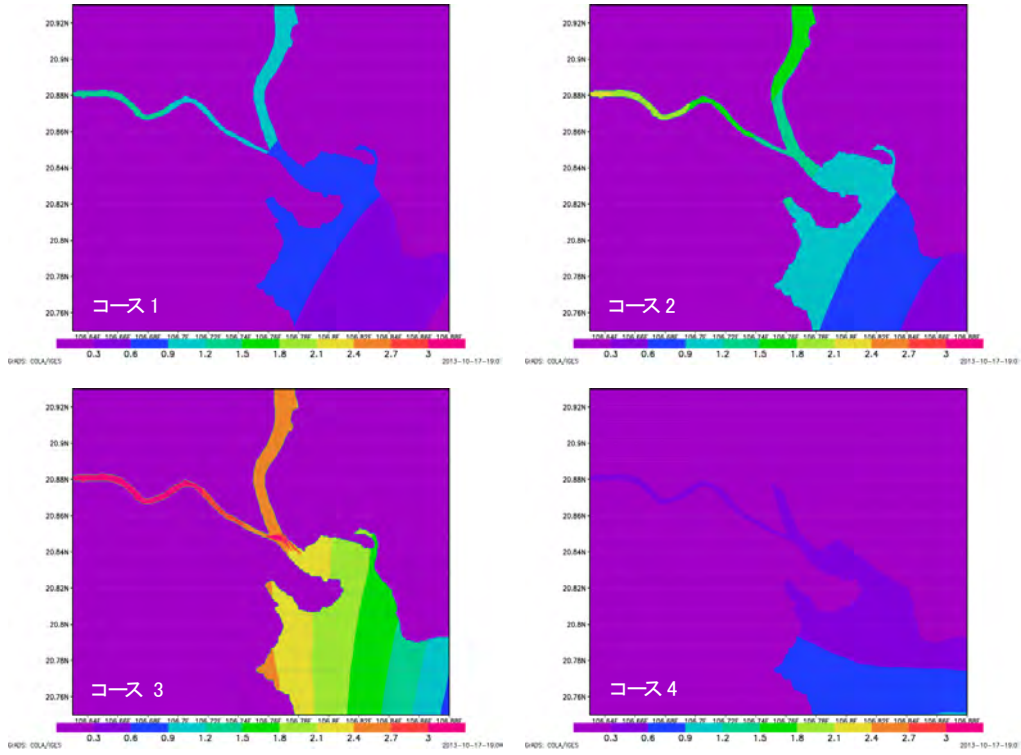


図 A.4.10 潮位偏差の最大値 (100年確率の台風)

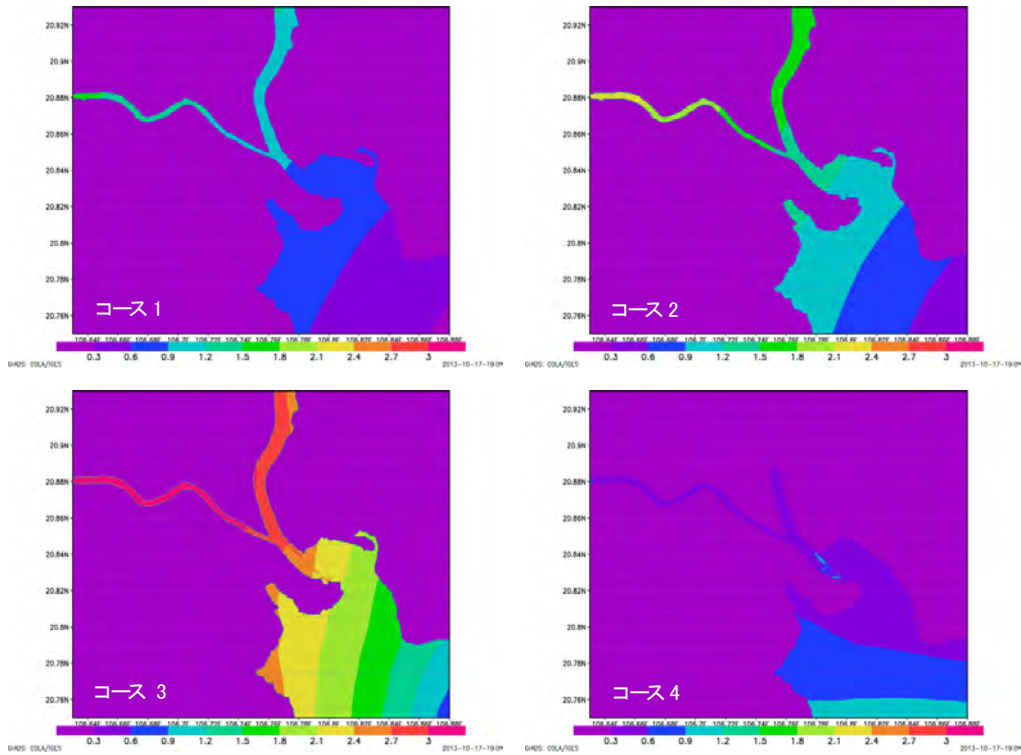


図 A.4.11 潮位偏差の最大値 (200年確率の台風)

A.4.7 湛水図作成

高潮による浸水評価は、朔望平均満潮位を基準面として、潮位偏差を加えて行った。海岸付近の潮位の最大値（標高値）を基準とした湛水状況（湛水深）を図 A.4.12～図 A.4.14 に示す。ハイフォン周辺では、満潮位が 3.5m であり、高潮のピークと満潮が重なった場合には 6m を超える潮位が予想される。

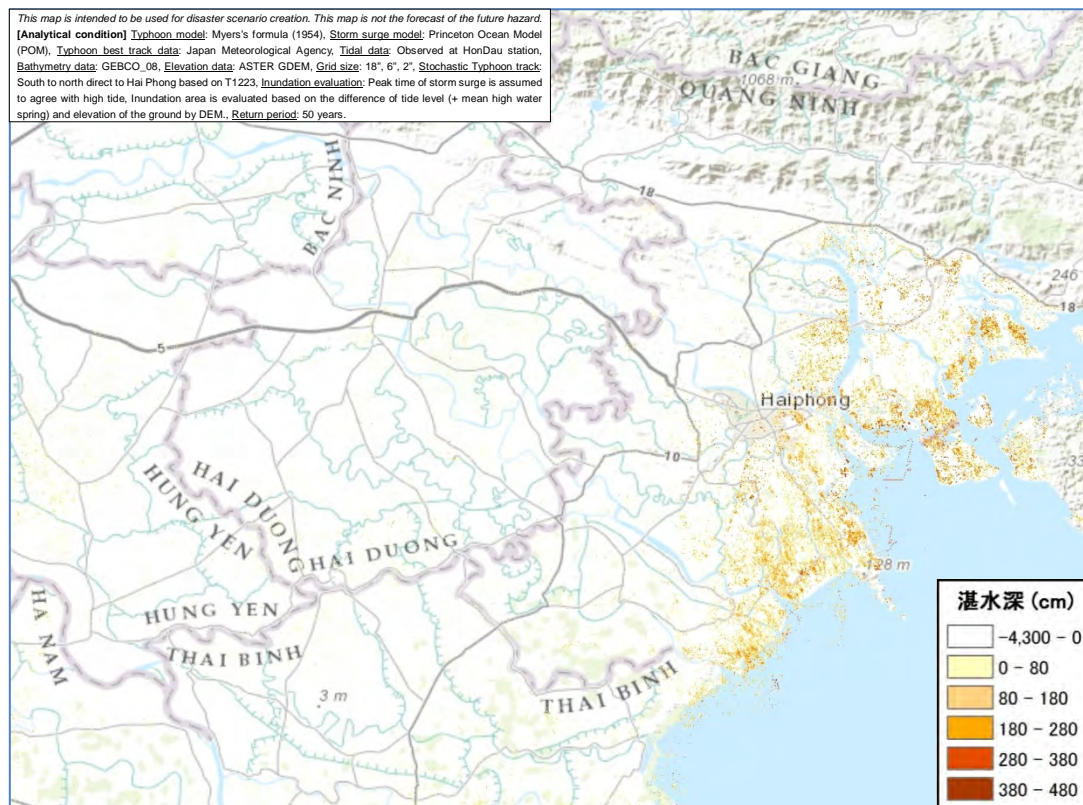


図 A.4.12 高潮潮位計算結果（最大湛水深 50年確率,コース3）

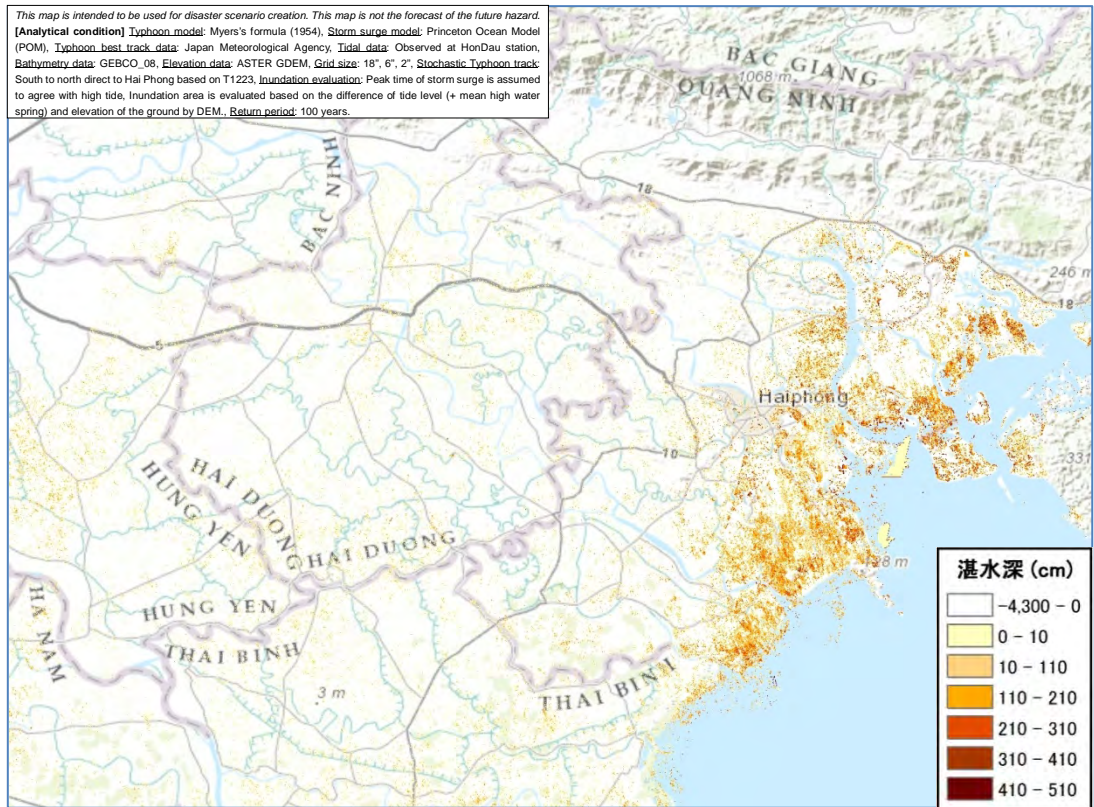


図 A.4.13 高潮潮位計算結果 (最大湛水深 100年確率, コース3)

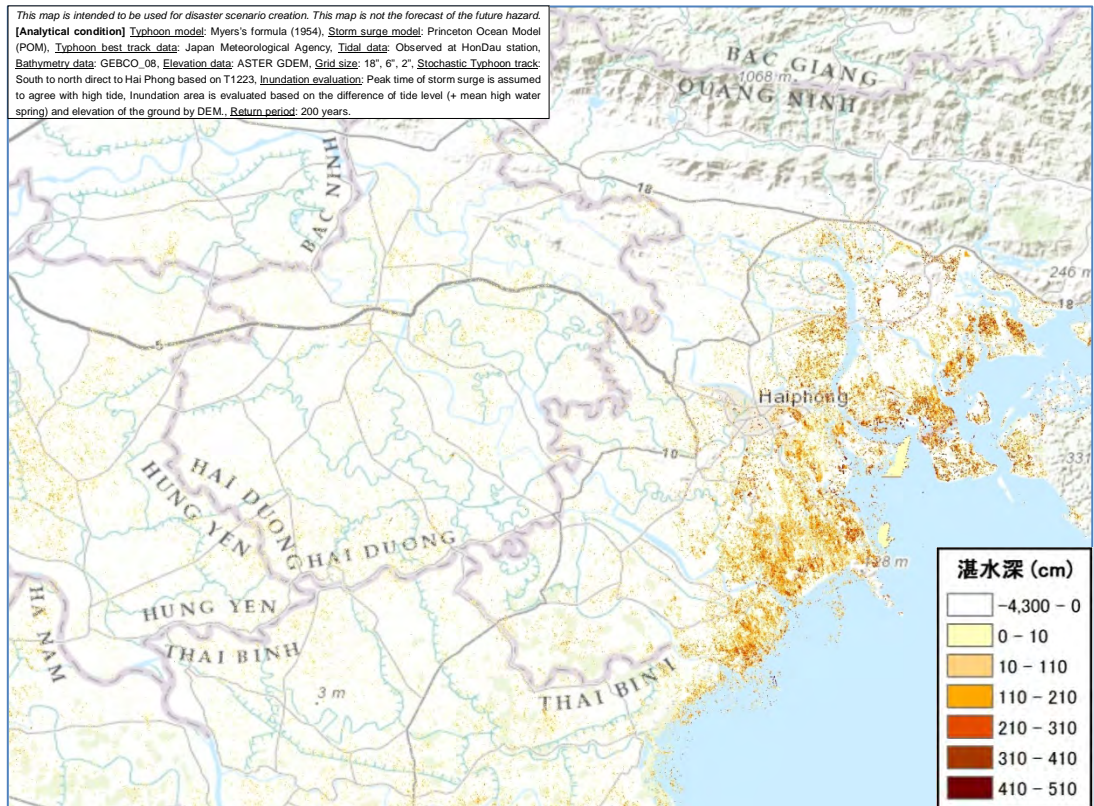


図 A.4.14 高潮潮位計算結果 (最大湛水深 200年確率, コース3)

A.4.8 解析結果の評価

(1) 気候変動の影響

IPCC 第 5 次評価報告書では、地球温暖化に基づく気候変動の影響により、将来の海面水位の上昇率は 1971～2010 年の期間に観測された上昇率を超える可能性が非常に高いとされている。また、極端な高い潮位の発生や高さの増加も可能性が高いとされており、今後高潮の発生リスクは大きくなることも考えられる。

(2) 台風の確率モデルについて

この解析では、過去の台風の記録から、中心気圧を指標として、X 年規模の台風を設定した。この台風をいくつかのコースで移動させ、結果として最大被害となるようなコースを採用して解析を実施した。さらに、台風による高潮の発生時刻が満潮と重なることを仮定している。したがって、台風は X 年に 1 回パイロット地域を襲うであろう現象を設定しているが、高潮については最悪ケースを仮定しているため、X 年に 1 回発生する高潮であると言うことはできない。最悪ケースを想定していることに留意する必要がある。

(3) 浸水評価について

この調査ではレベル湛水法を採用して高潮による浸水の評価している。すなわち、海岸線での高潮の波高と、陸上の標高を比較し、高潮の波高が標高より高い場合は浸水するとしている。浸水深は高潮の波高と標高の差である。この際、海岸堤防は考慮していない。したがって、海岸近くが低地の場合、かなり内陸部まで浸水すると評価されてしまう。動的な海水の移動をシミュレートするためには精度の高い標高データ、堤防などの構造物の高さ、土地利用、建物分布のデータが必要であり、また、精度の高い解析には高い技術レベルが求められる。広域 BCP のためのシナリオ作成目的としてはハードルが高いと思われる。

(4) 陸上標高(DEM)データについて

今回の解析では、陸上標高のデータとして人工衛星で取得されたデータ(ASTER-GDEM)を用いた。この種のデータとしては精度の高いデータではあるが、原理的に建物標高のデータが含まれているため、取り扱いに注意を要する。約 30m 格子のデータであるが、より大きいメッシュでグループ化し、最低値を地上標高とするなどの工夫が必要である。特にレベル湛水法を使用する場合には、浸水域が建物標高などの影響を受けていることを考慮して、表現を工夫する必要がある。