

# 韓国における都市洪水災害の特性と EFVS を用いた脆弱性分析

Urban Flood Disaster Characteristics and Assessment of Vulnerability using EFVS

韓国建設技術研究院 水資源環境研究本部 水資源研究室 首席研究員 金炳植

本稿では、2009 年の釜山広域市の事例を対象に、都市における洪水被害の原因について具体的に考えると共に、韓国の都市洪水災害の原因と問題点について考察した。さらに、GIS 基盤の洪水災害脆弱性評価システムを用いて都市災害の発生についてモニタリング・評価することで、都市災害の発生範囲や程度を時空的に定量化すると共に、これを都市の洪水災害対策を策定するための情報として提供する方法について述べた。

*Key Words: urban flood disaster, GIS, Vulnerability, EFVS*

## 1. 序論

昔から人間は水の供給を受けやすい地域を選んで定着してきた。そのため、川辺に人々が集まり、集落が形成され、十分な水の供給を受けながら産業化が進み、都市が発展してきた。しかし、近年、かつて好立地だった地域が都市洪水の危険にさらされている。

都市洪水には河川水の氾濫(River line Floods)、地表水の排水不良による都市洪水(Local Floods)、沿岸洪水(Coastal Floods)、鉄砲水(Flash Floods)などがある。即ち、産業化や都市化に伴い、都市災害は複雑化しており、被害パターンも多様化している。人口や施設物が密集している都市地域の場合、自然流域とは違い、浸水が発生すると多大な被害をもたらす可能性が高い。人口が密集する都市地域は、局地的な大雨や鉄砲水などの異常気象により人命被害が発生する可能性が高いため、より慎重な対策が求められる。

ここ 10 年間、台風以外の局地的な集中豪雨により、韓国の大都市で洪水被害が発生したのは、2001、2009 年のことである。2001 年、ソウル地域で記録的な降雨が観測された。降雨期間は 7 月 14~15 日の二日間だったが、洪水被害の発生に直接影響したのは 7 月 15 日早朝の豪雨である。地域的に持続時間 2 時間、100 年から 500 年頻度の降雨が発生した。2001 年の降雨の時に「ゲリラ暴雨」という言葉が新しく登場した。

2009 年の集中豪雨で釜山広域市では大きな被害が発生した。7 月 7 日に 310mm/day、7 月 16 日に 266.5mm/day と、記録的な暴雨事象が発生した。2009 年 7 月 7 日事象

の場合、気象庁の予想降雨量と違って、持続時間 1 時間降雨量 90mm/hr 以上の暴雨が約 3 時間持続し、また、50mm/hr 以上の降雨が 4 時間以上も続いたため、被害が大きかった。釜山の過去の降雨記録を基準に、持続時間 1 時間の降雨強度をみてみると、これは、頻度約 100 年の降雨であり、持続時間 3 時間の場合は 100 年頻度よりも降雨量が多い。

この他にも、2002 年の台風 ルサ、2003 年の台風マエミ、2006 年の台風イーウィニアにより、都市だけではなく全国で大きな被害が発生した。

都市地域で大規模な洪水被害が頻発する中、韓国の都市状況に応じた都市河川計画・設計・管理技術の改善に向けた研究が進められている。また、構造・非構造的洪水防止対策が策定・推進されている。しかし、このような洪水対策は、危険性分析(Hazard analysis)に基づいて行われているため、危険を抑制する構造対策に限られている。

本研究では、国内の都市洪水の実態を踏まえて、都市洪水危険管理(Urban flood risk management)という観点で、都市洪水の危険性と脆弱性を考慮した洪水対策の策定を支援するために、洪水発生に対する危険性分析と、洪水発生時の被害規模に影響を及ぼす洪水脆弱性分析を行った。これは、妥当な根拠を基に都市洪水防御対策を実施する対象地区(district)を選定するための分析である。また、「最適」ではなく「最善」の洪水防御対策を、選定地区に対して実施するための意思決定を支援するための分析である。この分析は、多様な DB、GIS 資料を基に行う必要があるため、異常洪水脆弱性分析システムを構築した。

## 2. 韓国の都市地域における洪水災害発生の原因と問題点

一般的に、洪水の規模は、降雨強度と総量、持続時間、流域の土壌特性、先行降雨などの影響を受ける。特に、都市の場合、降雨強度や流域の土地利用特性の影響を大きく受ける。都市化による開発は、地表面の不透水面積を増加させ、図1に示すように、流出全般に影響を及ぼす。

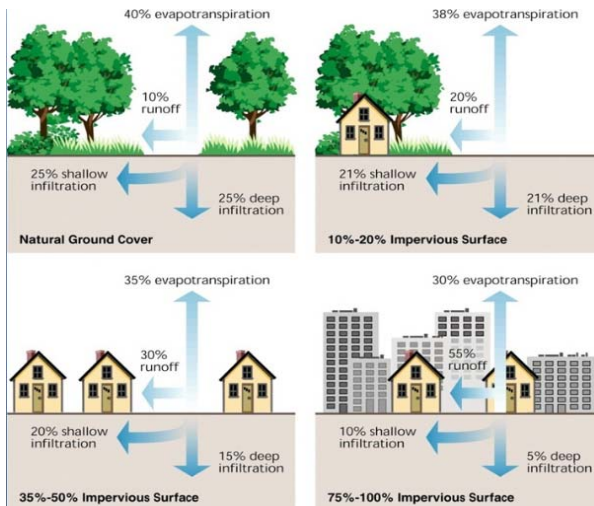
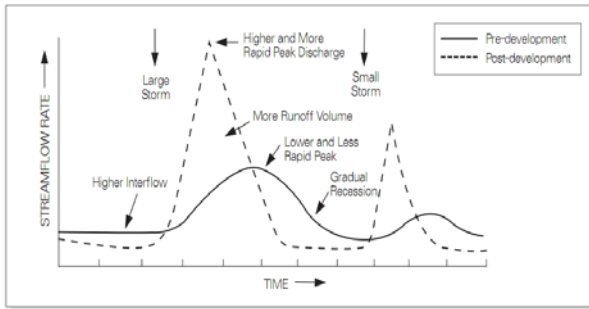


図-1 都市化による流出の変化

(上：開発前後の変化、下：不透水率による流出量の変化)

韓国の都市で洪水が発生する原因は大きく3つがある。第一は、排水管網の設計頻度を超過する降雨の発生である。韓国の大都市は、支線は5年頻度、幹線は10年頻度で設計されていた。しかし、都心地域で局地的な集中豪雨による被害が拡大したため、最近、設計頻度が、支線は10年、幹線は30年に強化されたが、新しい基準に合わせて増設された管網や雨水ポンプ場の数は少ない。ソウル市の場合、10年頻度は65mm/hr、30年頻度は75mm/hr降雨量だが、2001年、2009年の降雨はこの基準を上回るものであった。

第二は、都市河川と都市下水管網の連携が不十分なことが挙げられる。都市河川の堤防の整備率は高い方だが、下水管渠との連携が不十分であるため、河川水位の逆流による排水不良などの被害が発生している。韓国の施設

物は、頻度中心の降雨設計方法を採用しているが、施設物ごとに異なる頻度が適用されている。そのため、統合対策を取ることができず、河川は河川、管網は管網という形で個別に対策が適用されてきた。

第三は、都市の地形要因である。韓国の一部の場合、河川計画洪水位よりも低い地帯に多くの家屋や工場、農地などが位置している。都市の人口が急増し、住居や生活空間が足りなくなり、河川氾濫や、洪水発生の恐れがある低地帯に、住宅、建物を作り住み着いたからである。軟弱地盤地域や旧都心に半地下や地下住宅がたくさん建てられた。この地下空間の増加により、都市洪水被害がさらに拡大している。

上記の3つの原因のほか、社会構造的な要因も都市洪水被害を拡大させる原因となっている。張大元(2010)は韓国における1990年から2007年までの降雨量と被害額を分析して1990年代と2000年代を比較している。この研究によると、最大降雨強度と一日最大降雨量は、それぞれ3%、12%が増加している。同期間の平均被害額は、2007年の金額基準に、7,257億ウォンから29,354億ウォンと400%が増加した。降雨などの外的な条件の変化よりは都市化や産業化、集中化などの社会的な変化が、被害規模を拡大させる大きな要因となっていることが分かる。被害規模は、洪水を引き起こす降雨条件より、洪水発生時の洪水に対するその地域の強さ・弱さによる影響をもっと受ける。これを、地域の洪水に対する脆弱性という。洪水規模と洪水被害の脆弱性を考慮に入れて洪水危険管理を行う必要がある。本研究では、気候変化の影響も考慮した異常洪水脆弱性評価システム(Excess Flood Vulnerability estimation System, EFVS)を開発した。

## 3. EFVSを用いた都市洪水災害の脆弱性に関する分析

EFVSは、韓国の「大規模」「中規模」「標準規模」流域のうち、標準流域より小さい「小規模」流域に分割し、各小流域の異常洪水に対する脆弱性クラスを評価するシステムである。基本構造として「ボトムアップ式」と「トップダウン式」がある。「ボトムアップ式」は洪水に影響する地表面要素である。「トップダウン式」は気候変化や降雨など地表に影響する空の要素をいう(図2)。「トップダウン式の脆弱性」は、「気候変化を考慮した現在から未来までの脆弱性」と、「過去から現在までの降雨パターン変化分析による脆弱性」に分けられ、「ボトムアップ式脆弱性」は、「水文地形学的」「社会経済的」「洪水防御的な脆弱性」に分けられる。この区分は、既存の治水安全度や日本のFVIなど、多様な脆弱性研究を基に分類したものである。EFVSでは計13の指標が利用される。各脆弱性指標は、Delphi手法を用いた専門家アンケート結果を反映してウェイトを適用し、ユーザーはシステムを通じて、

環境変化によるウェイトを入力し、脆弱性変化について模擬することができる。

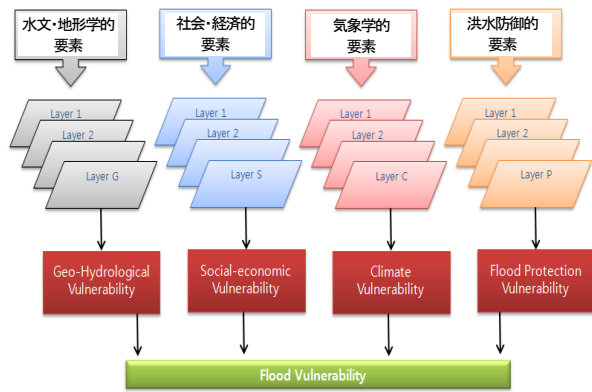


図2 異常洪水脆弱性指数の評価方法

指標は、それぞれの特性を考慮して、「ボトムアップ式」(水文地形、社会経済、洪水防御)と、「トップダウン式」(気象)グループに区分した。最終評価は、図2に示すように、各指標のウェイトを考慮して脆弱性を評価し、これに重要施設物として消防署や緊急避難施設、下水処理場、雨水ポンプ場、発電施設、病院を各小流域ごとに評価して、異常洪水脆弱性指数に反映する。

このように開発された指数を用いて、図3に示すように、各小流域の脆弱な部分を容易に評価することができる。脆弱性スコアによって、構造的対策、非構造的対策などの対策の優先順位が提示される。

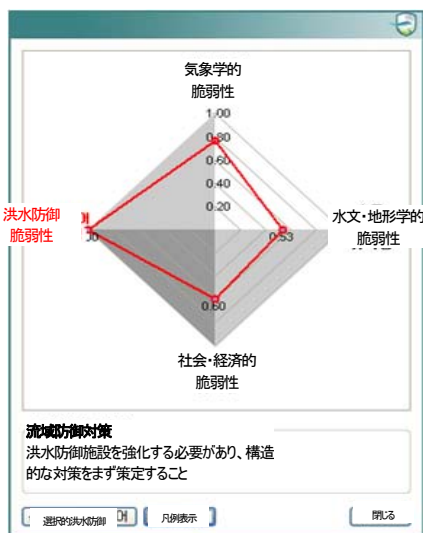


図3 各グループの脆弱性

EFVS は大きく 2 段階に分けられる。第一段階は、図3までであり、異常洪水脆弱性指数 (EFVI) が提示される。第二段階は、小流域内の危険地域をより精密に検出する段階と、システムから出された結果を基に、洪水防御対策の意志決定を支援する段階に分けられる。各段階の最終システム画面を図4に示した。

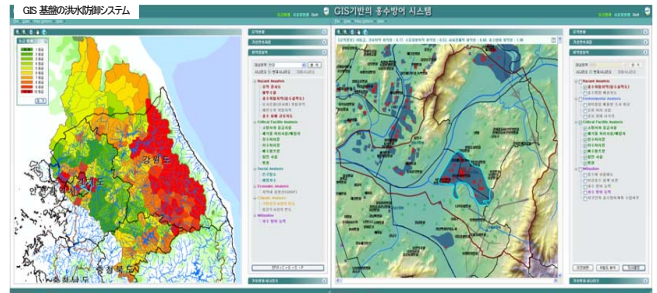


図4 EFVS 各段階の画面(左: 1段階、右: 2段階)

左図は、漢江流域に対する標準流域規模における異常洪水脆弱性(1段階)の結果であり、右図は、脆弱性の高い地区を選択すると表示される画面(2段階)である。その地域の浸水跡と洪水氾濫予想図が表示される。その地域の重要施設物が各重要度に応じて表示されるので、河川の上流、下流、左岸、右岸のうち、最も脆弱な箇所がどこなのか分かる。EFVS 2段階では、洪水防御対策を提示するために、サバイバル方式の条件収束の有無によって、最適な代案を選定する。そして、選定された代案の適正性について、知識基盤システムを用いて、類似した異常洪水時の対応事例と比較し、意志決定を支援するシステムを構築した(図5)。



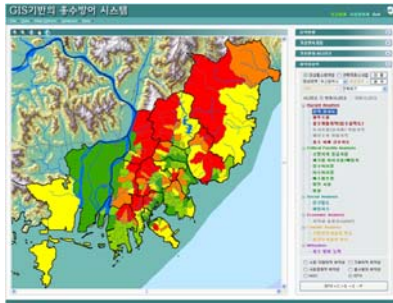
図5 EFVS 意志決定の支援

EFVS の河川流域に対する適正性については、「異常気象に備えた施設基準強化研究団」の研究を通じて検証され、水資源関連の最上位計画である「水資源長期総合計画(2010)」の治水安全度分析で活用されている。

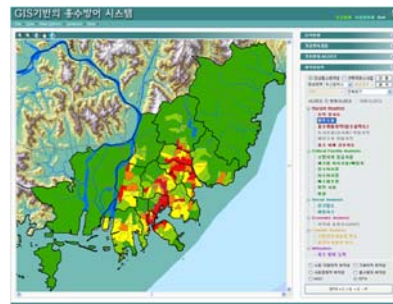
本研究では、都市地域に対するこのシステム適正性について検討するために、資料構築単位を 10m 単位に縮小すると共に、行政区域も市・郡・区から邑・面・洞に精密化して、2009年に大きな被害が発生した釜山地域を対象に検討を行った。

釜山広域市の脆弱性を分析するために構築された資料結果の一部を図6に示した。図の(b)と(d)の不透水性と人口密度から、中央と南側に市街地が形成されていることが分かる。韓国第二の都市らしく、河川整備率水準が

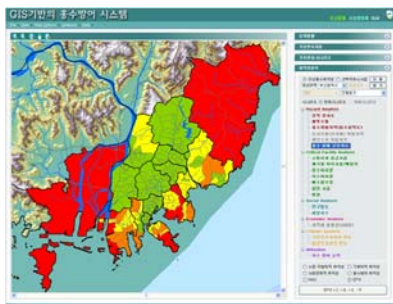
高いことも分かる(f)。流域の傾斜(a)については、釜山広域市の南側の海岸は傾斜のない地域であり、中央部は山の下に都心が広がっている。中央部は旧都心が位置しており、南側の海岸沿いに新都市が位置している。中央部で土砂災害が多く発生し、南側の海岸では浸水災害が多く発生している。



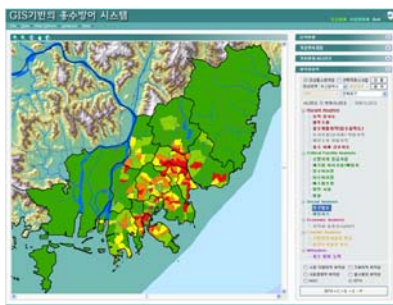
(a) 流域傾斜図



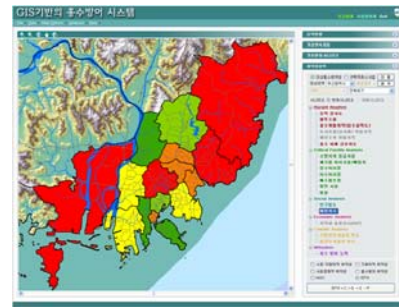
(b) 不透水率



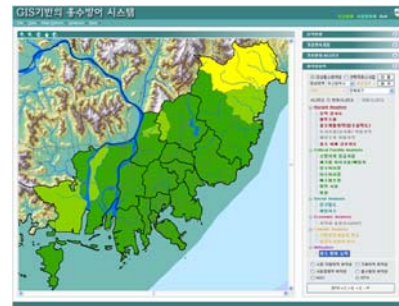
(c) 洪水被害規模地図



(d) 人口密度



(e) 財政指数



(f) 外水防御能力

図-6 釜山市の基礎データの構築

図7は、釜山広域市の異常洪水脆弱性について評価した結果である。黒い点は2009年に被害が発生した地域であり、右下は釜山市が指定した常襲浸水被害地域である。

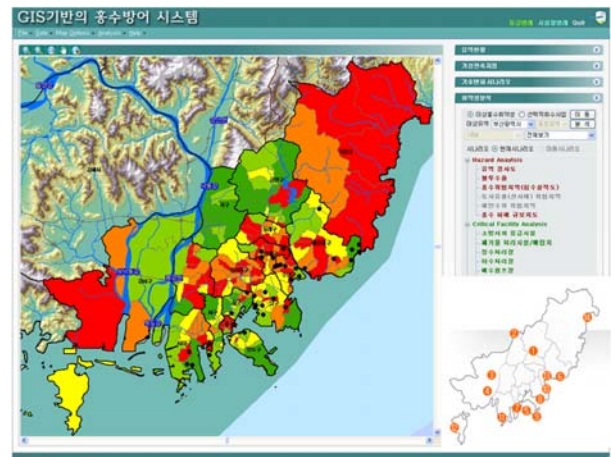


図-7 異常洪水脆弱性の分析結果と  
2009年の水害被害地域の比較

図をみると、被害が発生した地域は計39ヶ所、浸水被害地域は9ヶ所、その他は土砂・斜面災害地域である。9ヶ所の被害地域は、ポンプ場が設置されていない地域、低地帯地域、地下車道であることが調査から分かった。EFVSにより、脆弱性クラス5(緑色)、即ち、安全地域だと提示された地域のうち災害が発生した地域は7ヶ所であり、このうち、浸水関連地域が4ヶ所含まれている。4ヶ所はいずれも海雲台区松亭海水浴場付近であり、開発によって流出量が増加したため雨水ポンプ場設置が予定されていたところであるが、ポンプ場が設置される前に発

生した集中豪雨により被害を受けている。雨水ポンプ場未設置の場合、重要施設物に対する評価で、脆弱性クラスが上がり、EFVS は、その地域を危険と判断していたはずである。

この結果に基づいて、既存の河川による災害及び洪水脆弱地域は比較的によく反映していることが分かった。しかし、都市洪水地域に適用するためには、都市排水体系に関する指標(排水管網、雨水ポンプ場設計頻度など)や、低地帯の比率なども考慮できるように脆弱性システムを改善する必要がある。そうすることで、より正確に都市洪水の脆弱性を分析することができる。

#### 4. 都市地域における洪水防御計画

2009 年の降雨により釜山では大きな被害が発生したが、この釜山のケースと、同じ降雨量が発生したソウルのケースを比較することで、適正な洪水防御対策について考えることができる。2001 年、ソウル市では 100 年頻度を越える降雨が降り、大きな被害が発生した。この異常気象による被害に対応するため、極端事象を用いてソウル市の河川や管網の危険度について分析を行うと共に、これを基に、都市管網や雨水ポンプ場の設計頻度を上方修正して、対策を実施している。また、強化された基準に応じて施設の改善するまで、既存の雨水ポンプ場以外のポンプ場を追加的に設置したり、一部低地帯に簡易雨水ポンプ場を設置するなど、2001 年から 5~6 年間、様々な施設防災対策が行われた。また、都心の山地で発生して流下する流量を減らすために、3 ヶ所に大規模な貯留池を構築した。類似量の降雨が発生した釜山広域市とは違い、ソウルでは、市の積極的な取り組みにより、被害が発生していない。

この成功事例を踏まえて、都市地域の適切な洪水防御対策について考えてみた。

第一、降雨条件の変化に対応するために、既存の防災施設物の設計頻度を上方修正する必要がある。追加的に、「地区」という考え方に基づいて、それぞれ異なる設計頻度基準ではなく、1 時間当り降雨量に基づいて、対策を実施する必要がある。

第二、旧都心の再開発・再建築を行う際に、低い住宅を二階以上の住宅に改築すると共に、低地帯の盛土、緑地空間比率を増大などを行うことで、流出量を抑制しなければならない。これは、土地利用の規制という考え方に基いて、強制条項を基に地表面の不透水性を抑制する対策を展開する必要があることを意味する。

第三、雨水流出低減施設を拡大しなければならない。これは大きく個人事業と公共事業に分けられる。個人事業としては、一戸建ての屋根の雨水貯留空間を拡大する事業などがあり、公共事業には、学校や公共事業敷地面積の 2% 以上に深さ 3m 以上の雨水貯留施設の設置を義務

務付ける事業などがある。

第四は、都市河川の問題にも対応しなければならない。適正な河川幅や堤防余裕高が確保されていない所に、分岐河川や河川付近に調整池を作って対応することができる。分岐河川は、既存道路の下部を河川通水面積に利用するものであり、道路の利用荷重によって半覆蓋で施工することもできる。河川の調整池としては、日本東京都の meguro river 調整池や、myousyouji 調整池などがある。韓国ソウルの中浪川では大規模スマートトンネル工事が計画されており、平時は地下道路として、雨期には地下河川として利用する方策が検討されている。

第五は、建物の耐洪水化に取り組む必要がある。頑丈な建物を好む伝統的な考え方が最近変わりつつある。既存の河川周辺の老朽住宅を改修・補修する際に、耐洪水化対策を適用したり風水害保険の保険料を割引するなどの方策についても検討する必要がある。

最後に、国家河川の洪水予報・警報システム以外にも、地域の都市河川や内水体系、モニタリングシステムなどを利用して、地域の洪水予報・警報システムを構築する必要がある。水文学的な分析を通じて予報・警報を出すには、都市で発生する洪水危険の接近時間が短すぎる。都市に設置されている CCTV などのモニタリングシステムや、既存の水位観測施設、予報・警報システムを活用して、迅速に状況を判断・伝達する体系を構築しなければならない。

#### 5. 結論

本稿では、韓国の都市洪水の現状と、3 年間にわたって開発された EFVS システムを適用した結果などに述べた。近年における異常気象の発生により都市地域の洪水対策が混乱しており、適正な対策の策定が難しくなっている。河川の小流域を対象に、水防対策を優先的に行う地域を選定する際に、洪水脆弱性を考慮すると共に、気候変化によるトップダウン式脆弱性を考慮して、脆弱地域を選定する EFVS システムの第 1 段階は、それ自体でも意味がある。都市地域においては、都市洪水体系の中で被害を最小化するための重要施設物について検討し、洪水対策に関する代案意志決定を支援するプロセスの EFVS 2 段階を活用することができる。釜山広域市を対象にこのシステムを適用した結果、改善点も一部見付かったが、全体的に活用性が良いことが分かった。この結果の基となっている各脆弱性指標 DB は、都市洪水対策を策定において、それぞれの条件に応じた対策を策定するためのガイドラインとして提供することもできる。

アメリカに「One should hope for the best but prepare for the worst」ということわざがある。これは、最善を望み、最悪の状況に備えよという意味であり、自然に対する我々の姿勢を意味するものでもある。気候変化による都市洪水に対処する我々にとって参考にすべき姿勢で

あり、発達しつつある IT、水文、水理学を結合して新たな防災対策を打ち出し、積極的に展開する必要があることを意味するものでもある。

## 6. 参考文献

韓国建設技術研究院(2007)、「異常洪水対応手法の国内外の事例調査及び対応戦略の策定」、研究報告書(2次年度)、国土海洋部  
韓国建設技術研究院(2008)、「異常洪水対応手法の国内外の事例調査及び対応戦略 策定.」、研究報告書(3次年度)、国土海洋部  
韓国建設技術研究院(2009)、「異常洪水対応手法の国内外の事例調査及び対応戦略 策定.」、研究報告書(4次年度)、国土海洋部