

地球規模課題対応国際科学技術協力

(防災研究分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災科学技術」領域)

マレーシアにおける地すべり災害および水害による被災低減に関する研究

(相手国：マレーシア)

平成25年度実施報告書

代表者：登坂 博行

東京大学大学院工学系研究科・教授

<平成22年度採択>

目 次

1.プロジェクト全体の実施概要	-----1
2.研究グループ別の実施内容	
2.1 RS/GIS グループ (G1)	----- 2
2.2 Flood グループ (G2)	-----6
2.3 Landslide グループ (G3)	-----13
2.4 Data Center グループ (G4)	----- 17
2.5 EWS グループ (G5)	-----20
3.成果発表等	-----22
4. プロジェクト実施体制	-----23

1. プロジェクト全体の実施概要

本プロジェクトは、マレーシアの大学・研究機関と協力し、同国で多発するモンスーン季の洪水氾濫・地すべりの被害低減のために、最新の観測技術、解析技術、情報技術などによる検討を行うとともに、総合化したリスクマネジメント・早期警戒システムを提案することを目的としたものである。

本プロジェクトは平成 22 年に採択され、実際の開始は平成 23 年 6 月である。日本側の主要機関は、東京大学(UT)、千葉大学・環境リモートセンシングセンター(CEReS)、土木研究所・ICHARM、防災科学技術研究所(NIED)、(株)ビジョンテック(VTI)であり、他に京都大学、茨城大学、九州大学が参加している。マレーシア側は、Universiti Sains Malaysia(USM)、Universiti Tenaga Nasional(UNITEN)、MultiMedia Universiti(MMU)の 3 大学、および Department of Irrigation and Drainage Malaysia(DID)、Malaysian Public Works Department (PWD) (or Jabatan Kerja Raya Malaysia (JKR))などの国立研究機関が参画している。

これらの機関が以下の 5 つのグループを構成し、研究を進めている。

グループ1: RS/GIS グループ(リーダー機関:CEReS、UNITEN)

衛星・航空機による先進的なリモートセンシング技術の開発と地理情報システム(GIS)を利用した災害地域の自然環境情報の収集・解析、社会環境情報の解析・整備等を行う。

グループ2: 洪水氾濫解析グループ(リーダー機関:UT、ICHARM、UNITEN)

洪水氾濫頻発地域の一つであるマレーシア北部 Kelantan 川流域全域を対象として、過去の水文観測記録を収集すると共に、地形・地質・植生・都市域などを反映した統合的かつ高度な洪水流出数値解析モデル(全領域モデルおよび高解像度モデル)を開発する。これにより、洪水氾濫予測、ハザードマップ作成、早期警戒システムへの組み込みを行う。

グループ3: 地すべり解析グループ(リーダー機関:NIED、USM)

マレーシアの自然環境、降雨特性を考慮した地すべり災害リスク評価手法の開発および早期警戒情報に関する斜面モニタリング手法、解析手法、評価予測手法の開発を行う。また、衛星情報などを利用して、半島内の地すべり危険地域の俯瞰的な解析を行う。

グループ4: データセンターグループ(リーダー機関:VTI、USM)

本プロジェクトで収集され、作成される多種のデータ管理、早期警戒システム運用のための統合データベースの構築を行う。

グループ5: 早期警報システム(EWS)グループ(リーダー機関:NIED、MMU)

地方政府や住民が利用できることを目的にした地すべりおよび洪水災害に関するリスクマネジメントシステム早期警戒・避難支援に供する EWS システムの試行的構築・提案を行う。

最終段階では、すべてのグループの情報・個別技術を集約し、現地の研究・行政機関により継続活用されるような統合データベース・EWS の技術移転を図る。

2. 研究グループ別の実施内容

2.1 RS/GIS グループ(G1)

①研究のねらい

既存衛星情報および地理情報システム(GIS)を用い、地表環境の経時変化および現況の解析を行うと共に、最新のリモートセンシング技術(CP-SAR)の研究を行う。

②研究実施方法

②-1 既存および2次的空間情報の収集、作成、整理

マレー半島全域の地すべり、水害の低減を目指し、Kelantan 川流域を始めとする数地域をテストサイトに設定し、過去の災害歴、災害状況(図 2-G1-1)、気象観測データ、地形図や土地利用図、地質図など現存する各種の地図データ、衛星データ(JERS-1、ALOS、ASTER、MODIS、LANDSAT など)、社会環境データ(インフラ、人口、経済など)などを収集・整理し、それらの空間情報を解析し、過去の地表環境変化を明らかにする。

②-2. 各種空間情報を用いた災害危険度評価

収集した時系列空間情報から、洪水/地すべり災害危険域を抽出する方法を開発する。また、災害発生要因の重み付け評価を行い、メッシュ単位でリスク計算を行う。さらに、それらの計算結果を過去の災害履歴および他グループのシミュレーション結果と比較することで、災害危険域抽出方法の妥当性を評価する。

②-3. UAV/CP-SAR の開発

地表環境情報を迅速・高精度・継続的に観測することが可能であり、近い将来に活用が期待される Unmanned Aerial Vehicle(UAV) 搭載型 CP-SAR 及び光学センサーによる観測の実施可能性を研究する。

③ 当初の計画に対する現在の進捗状況

③-1. 既存および2次的空間情報の収集、作成、整理

- ・マレーシアからの中期招聘研究者 2 名と協働して、UNITEN グループより提供のあったケランタン州を中心とする各種主題図についてシェープ形式のデータに変換し、GIS 登録を行った(図 1)。しかしながら得られたデータの出所、地図調整者や調整年が不明のためこのまま使用できないものも多くあるため、現時点では参考データとしての扱いにとどめている。
- ・人工衛星 JERS-1 並びに ALOS のそれぞれの合成開口レーダ SAR と PALSAR で観測された画像の時系列データセットを作成した(図 4-G1-2)。
- ・人工衛星 ALOS の合成開口レーダ PALSAR センサより取得した画像(2 シーン)を活用して、地上における Digital Terrain Model (DTM) を抽出した。2009 年 10 月 15 日と 2010 年 12 月 3 日に記録した画像を、それぞれスレーブとマスターとして使用した。対象地域は、マレーシア半島北部であるコタバル地域である。干渉微分合成開口レーダ(DInSAR)手法で、この対象地域における強度画像、DTM および標高データ(Digital Elevation Model - DEM)を抽出した(図 3)。また、この手法によって、観測地域における地殻変動または微小変化を抽出することができた。

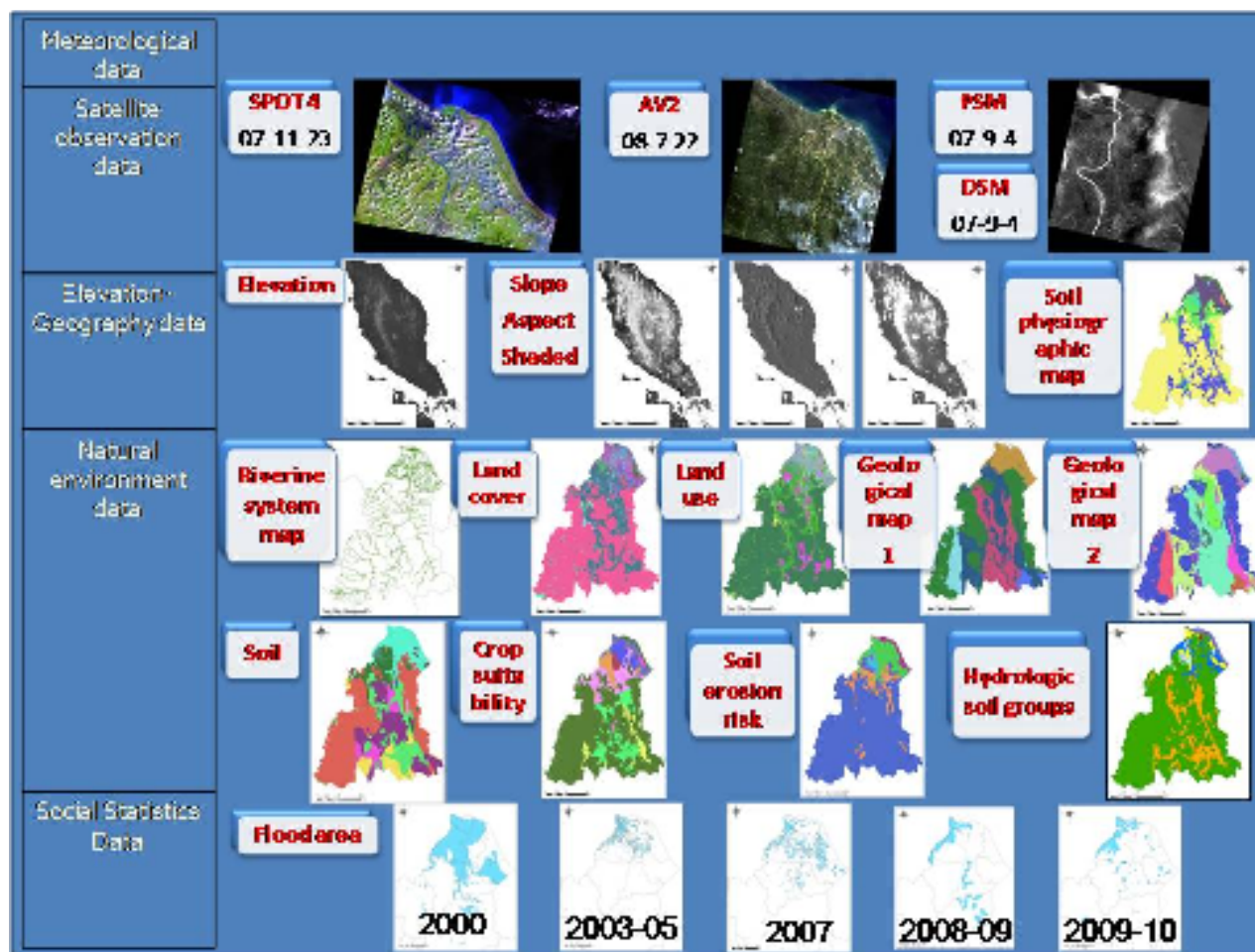


図 4-G1-1. ケランタン州の各種主題図の GIS 化

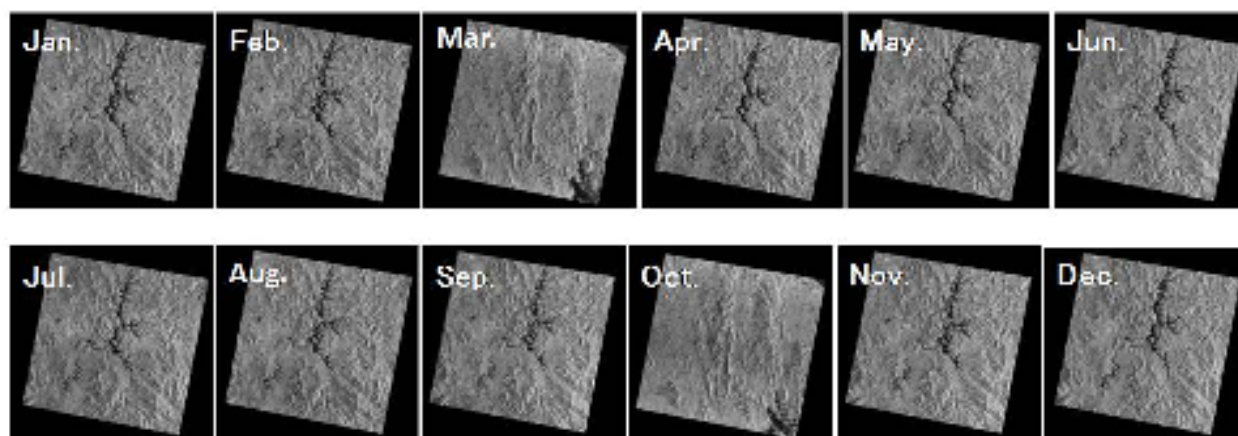


図 4-G1-2. JERS-1/SAR 時系列データセット

③-2. 各種空間情報を用いた災害危険度評価

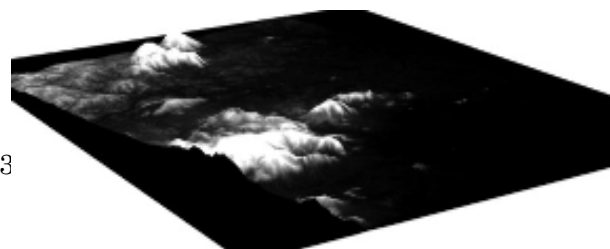


図 4-G1-3. DTM 抽出例

・マレーシアからの中期招聘研究者 2 名と協働して、UNITEN グループより提供のあったケランタン州内の洪水氾濫域図をシェープ形式のデータに変換し GIS 化した。

・洪水氾濫域図は、2000 年、2003～2005 年、2007 年、2008～2009 年の 4 時期であり、対象とする単年あるいは複数年内に発生した洪水をまとめて図にしたものである。従って、発災毎にその日時・期間毎にまとめたものではなく、ある期間に発生した洪水の氾濫域を集積して示したものである。そこで、以上のデータを統合して、図 4-G1-4 で示した洪水氾濫頻度分布図を作成した。この氾濫頻度図のベースマップには 2010 年 6 月 1 日に観測された LANDSAT-5/TM の画像を使用した。

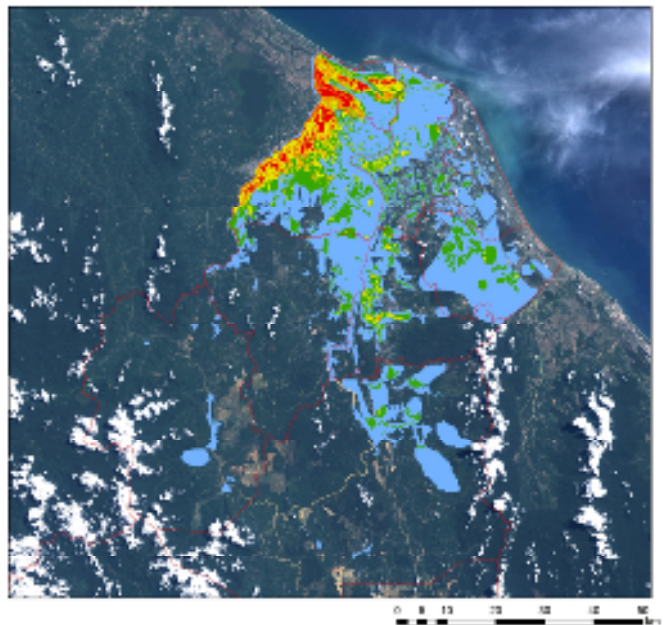


図 4-G1-4 氾濫頻度図

・ネットで調べて得られた洪水氾濫情報からそれをカバーする光学センサデータ（ALOS/PRISM および AVNIR-2、ASTER、SPOT4/MS）の検索を実施し、洪水時に観測された衛星画像（SPOT-4/MS、2007 年 11 月 23 日：図 4-G1-5）、及び洪水のない時（図 4-G1-6）で、比較的雲の影響が少ない時の衛星画像（ALOS/AVNIR-2、2008 年 7 月 22 日）を購入した。今後、この衛星画像を解析して、氾濫域の抽出や、土地被覆変化などを行い、災害危険度評価の解析を行う予定である。



図 4-G1-5 洪水時に観測された衛星画像 SPOT-4/MS

図 4-G1-6 無洪水時の衛星画像 (ALOS/AVNIR-2)

③-3 UAV/CP-SAR の開発

・2012 年 8 月に、日本マレーシア両国研究者が共同で設計した、CP-SAR の主要機材となる 1270MHz 送受信機モジュールが納品された（図 4-G1-7）。

・本プロジェクトの目的である災害対応時における活用という視点では、CP-SAR は UAV に搭載して運用することが強く望まれる。UAV 開発に関しては本プロジェクトとは別予算で進めており、2012 年 6 月 7 日には UAV の初飛行テストが成功している（図 4-G1-8）。

・2013 年 8 月 29 日に、静岡県富士川滑空場にて、MMU と UNITEN の研究員と大学院生と一緒に、千葉大学環境リモートセンシング研究センターヨサファット研究室の無人航空機（JX-1）搭載の円偏波合成開口レーダ（CP-SAR）とハイパースペクトルカメラの飛行試験を行った（図 4-G1-9、参考：http://youtu.be/9Ka_2ohiZIM）。また、合成開口レーダ（SAR）搭載無人航空機をはじめ、マイクロ波センサ、小型衛星などの特性を調査するための地上実証実験用の設備を 2013 年 9 月 12 日に整備し、UNITEN のスタッフである ZafriBaharuddin 氏と一緒に制御システムを開発しており、本プロジェクトの人材育成、教育研究活動を進めている。



図 4-G1-7 UAV 積載用機器



図 4-G1-8 UAV 飛行テスト



図 4-G1-9 CP-SAR センサ搭載大型無人航空機の実証実験の様子(H25/8/29)

④カウンターパートへの技術移転の状況

CP-SARの主要機材となる1270MHz送受信機モジュールの設計は、日本マレーシア両国研究者が共同で行った。また、CP-SARの各種機能テスト、チューニング、周辺接続機材の開発には、数か月単位で招へいたマレーシア若手研究者が参加している。さらに、CP-SAR 搭載 UAV の飛行実験にもマレーシア若手研究者が参加しており、機材開発および開発後の活用も含めた知識・技術・経験の共有・伝達に努めている。

また、これまで9回開催した SAR 画像信号処理ワークショップに、マレーシア研究者も数多く参加しており、SAR 画像の信号処理の基礎から微分干渉合成開口レーダ (DInSAR) までの処理方法を指導している。これらの知識は、詳細 DEM の作成や地表環境変動の把握に役立ち、本プロジェクトにも貢献するものである。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

相手国における災害発生記録が当初の想定よりも未整備であり、データ収集作業および災害危険度評価が遅れている。

2. 2 Flood グループ (G2)

①研究のねらい

Kelantan 川流域全域を対象とした統合的かつ高度な洪水流出数値解析モデル(全領域モデルおよび高解像度モデル)を開発する。また、Dungun 川流域において、IFAS による洪水解析を実施する。

②研究実施方法

②-1. フィールド調査および水文観測記録の収集

研究対象流域を選定するとともに、相手国研究機関および RS/GIS グループと協力・調整しながら、モデル解析に必要な水文情報・地理情報の収集・整理を行う。また、相手国研究機関および他グループと協力・調整しながら、地上観測を行なうモニタリングステーションの設置場所の検討、調査、選定と設置を行なう。

②-2. 統合洪水解析システム (IFAS) に基づく広域洪水解析モデルの構築 (ICHARM チーム)

IFAS (Integrated Flood Analysis System) を基盤としたモデルをマレーシアの対象河川に適用し、地上水文情報を複合活用しながら、熱帯モンスーン域での広域での洪水流出解析・予測への適用性と実用性を明らかにする。洪水流出計算に必要な雨量情報について、衛星雨量、レーダ雨量、地上雨量の比較分析を行うとともに、IFAS による流出解析への適用を通じて、最適な合成雨量プロダクト作成アルゴリズムを検討する。また、下記の中・高解像度水循環モデルと比較することで、両モデルの信頼性の向上を図る。

②-3. 統合型 3 次元水循環モデル GETFLOWS による中・高解像度モデル開発 (東大チーム)

統合 3 次元水循環モデル GETFLOWS (GEo-sphere Terrestrial FLOW simulation System) を利用し、地形情報、植生など土地利用情報、水文情報を入力し広域・局所の水の流れを追跡する 3 次元水循環モデルを構築し、洪水氾濫の再現・予測や地すべり解析に資する。モデルの精度向上を目的として、気象データ、地中データの長期モニタリングステーションからのデータによりキャリブレーションを行うと

共に、他グループのモデルや災害危険度評価の結果と比較し、モデルの精度を向上させる。

③当初の計画に対する現在の進捗状況

③-1. フィールド調査および水文観測記録の収集

相手国研究機関および RS/GIS グループと協力・調整しながら、新たな地上観測を行なうモニタリングステーションの設置場所の検討、調査、選定を行い、設置した（H25 年度）。

モデル解析に必要な水文情報・地理情報の収集・整理を行い、相手国研究機関、留学生（東大博士課程）と共に、データ信頼性のチェック、降雨量分布、観測点流量データ（ハイドログラフ）の抽出などを行っている。

③-2. IFAS による Kelantan 川流域洪水流出解析モデルの構築

③-2-1. 流出解析モデルパラメータの推定

当該研究対象流域の Kelantan 川について、IFAS を用いて洪水予警報システムの基礎となる流出解析モデルを構築した。図 4-G2-1 に構築した分布型流出解析モデルの地形、河道状況、土地被覆、土壌の状況を示す。表 4-G2-1、表 4-G2-2 に構築したモデルの諸元を示す。

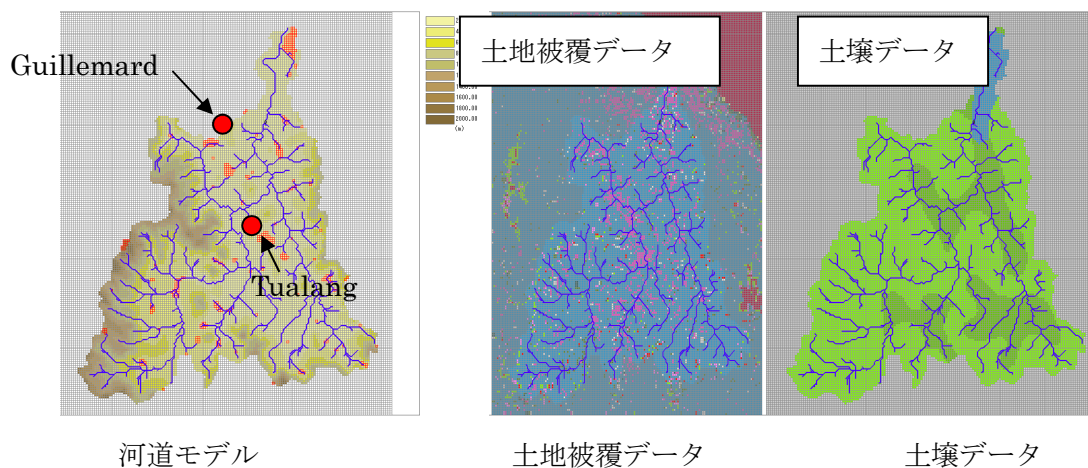


図 4-G2-1 IFAS で構築した Kelantan 川流域モデル

表 4-G2-1 Kelantan 川流域のモデル構築に用いたデータ

データ項目	名称	データ規格等
標高データ	Globalmap(Elevation)	グリッドサイズ 30sec ISGCM(GSI, CEReS, Collaborating Organizations)
土地被覆データ	Globalmap(Landcover)	グリッドサイズ 30sec ISGCM(GSI, CEReS, Collaborating Organizations)
土壌データ	Digital Soil Map of the World(DSMW)	FAO/UNESCO
流域界データ	HydroSHEDS basin shape	グリッドサイズ 15sec、USGS、流域界形状の参考

表 4-G2-2 構築したモデルの諸元及び解析に用いたデータ

データ項目	設定	規格等
空間解像度	1km	UTM 座標系
計算時間間隔	1h	
使用モデル	2 段タンク土研分布モデル	
解析対象期間	2008/12/1～2008/12/22	22 日間
雨量データ	地上観測雨量データ	最大 9 地点、観測時間間隔 1h
	GSMaP_NRT	グリッドサイズ 0.1°、配信時間間隔 1h、配信時間遅れ 4h
	3B42RT(V7)	グリッドサイズ 0.25°、配信時間間隔 3h、配信時間遅れ 6-10h
流量データ	水位観測 H-Q 換算流量データ	3 地点、観測時間間隔 1h
発散	NCEP Latent Heat Flux	1.9° 格子、AMIP-II Reanalysis (Reanalysis-2) monthly average of 30years,

Kelantan 川流域は、FAO の DSMW データを元に USDA の Soil texture triangle で分類すると、Sandy-Cray-Loam に分類される土壌区分が 72%を占めており、次いで Sandy-Loam に分類される土壌区分が 23%を占め、この 2 つで 95%を占める。比較的透水性の高い土壌区分であるため、モデルパラメータにおいて透水性を高くし、地下浸透が卓越するパラメータを設定した。

③-2-2. 人工衛星観測雨量データ GSMaP の補正式

ICHARM の衛星雨量の降雨分布データを基に補正する手法を GSMaP に適用した。補正式を図 2 に示す。図中横軸の S_n は降雨分布状況を示す指標、縦軸の m_j は補正係数を示している。マレーシア国の Dipartment of Irrigation and Drainage が観測、収集している雨量データと人工衛星観測雨量データ GSMaP を比較し、降雨分布と補正係数の関係をプロットし、二乗誤差が最も小さくなる近似式を、Kerantan 川流域における GSMaP の補正式とした。

$$y = 6.2957x^{-0.6899}$$

$$y \leq 10, x \leq 0.511 \quad (1)$$

$$y \geq 1, x \geq 14.39$$

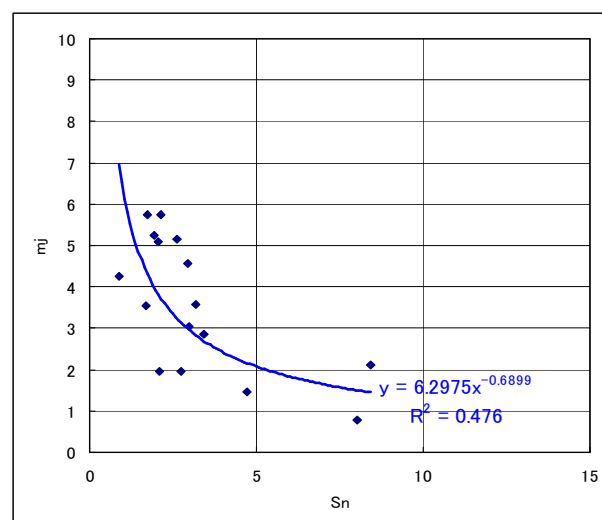


図 4-G2-2 Kerantan 川流域における GSMaP 補正係数と降雨分布の指数の関係

③-2-3. 過去洪水の再現計算結果

(1) 人工衛星観測雨量データ 3B42RT を用いた解析結果

NASA の衛星雨量プロダクトである 3B42RT(V7)を用いた解析結果を図 4-G2-3 に示す。洪水波形のタイミング、規模ともに良好な結果を示している。水位観測値から H-Q 曲線で変換した流量に対してピーク付近のみ過大評価であるが、全体の波形、洪水のタイミングを的確にとらえている。観測と配信の配信時間の差が 6~10 時間あることから、洪水到達が速い上流域には適していないが再現性は高い。

(2) 地上雨量計データ

地上雨量データを用いた解析結果を図 4-G2-4 に示す。最初のピーク付近が過大評価ではあるものの、洪水波形をよくとらえているため、的確に洪水来襲のタイミングを事前に知ることができる。これまで 8 地点の雨量計データが提供されているが、対象面積が広大であるため、降雨分布を正確にとらえきれていない可能性がある。

(3) 人工衛星観測雨量データ GSMaP を用いた解析結果

上記にて補正した JAXA の人工衛星観測雨量データプロダクト GSMaP を IFAS に入力して流出解析を行った結果を図 4-G2-5 に示す。洪水波形について、観測データと解析データの流量増減のタイミングあっているものの、顕著な過小評価である。マイクロ波観測のタイミングや、雨量のサンプリング、水収支について検証を行っていく必要がある。

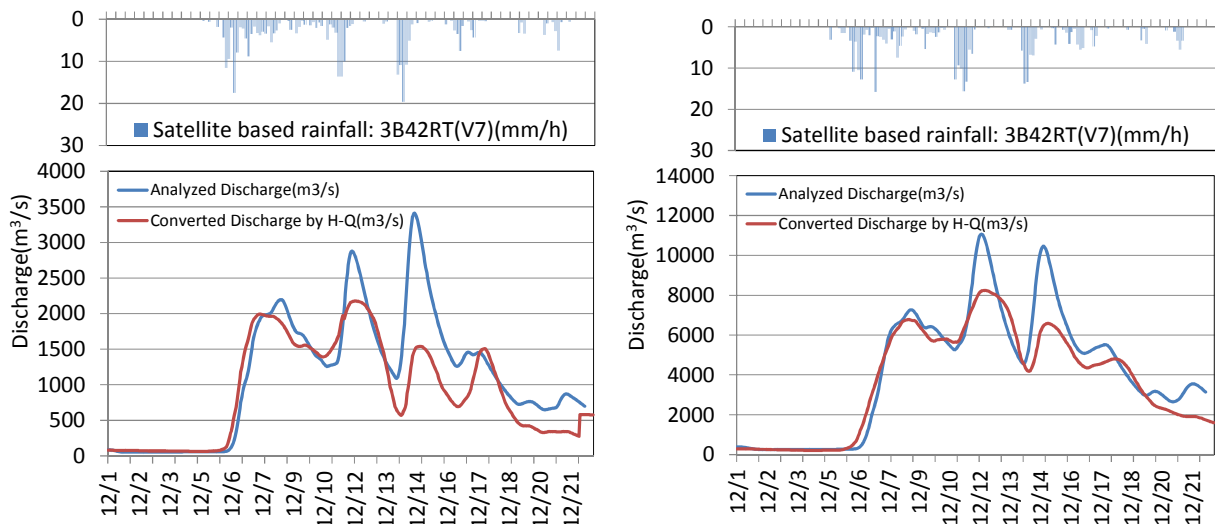


図 4-G2-3 3B42RT を用いた流出解析結果（左：Tualang 観測所、右：Guillemard 観測所）

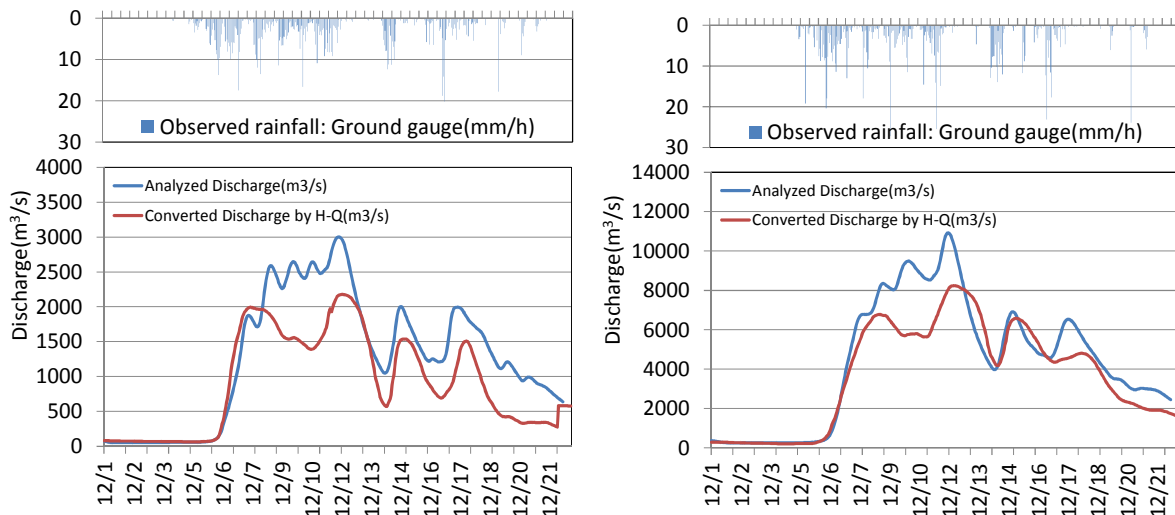


図 4-G2-4 地上雨量計データを用いた流出解析結果（左：Tualang 観測所、右：Guillemard 観測所）

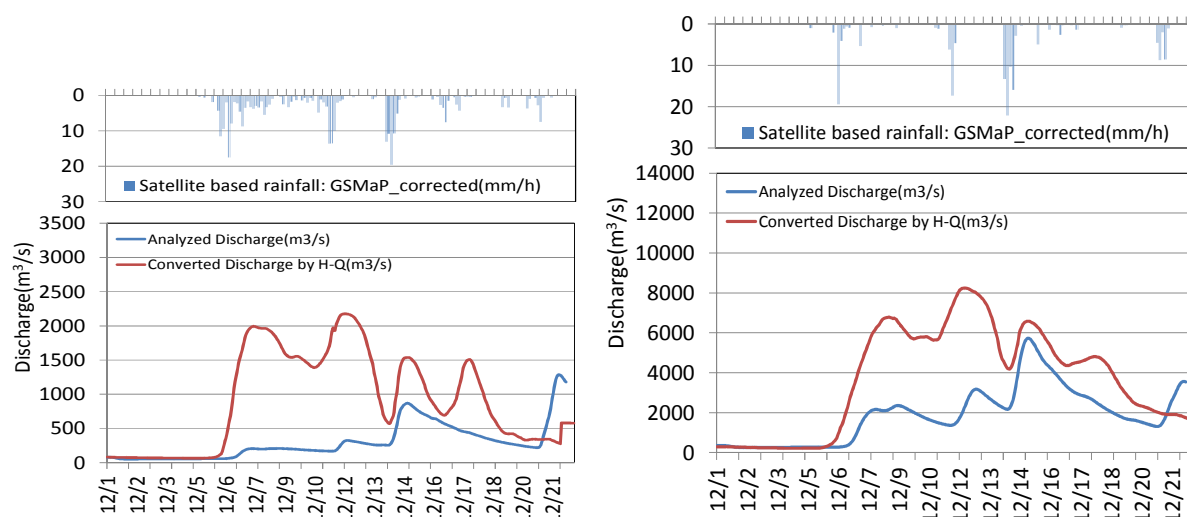


図 4-G2-5 補正 GSMap_NRT を用いた流出解析結果(左：Tualang 観測所、右：Guillemard 観測所)

③-3. 統合型 3 次元水循環モデル GETFLOWS による中・高解像度モデル開発（東大チーム）

③-3-1 流域水文データの処理

Kelantan 流域には約 100 程度の降雨量観測ステーションがあり、古いものは 1950 年代からの観測値がある。また、10 点弱の流量観測点において年 1 回程度の流量観測が行われている。これらのデータから以下のような検討を行っている。

- ・長期間の降雨量データに対して、データ信頼性解析、温暖化等による変動傾向分析を行い、殆どの観測点のデータは計器等の不具合や乱れが顕著ではないとの結論を得た。
- ・ハイドログラフの抽出：7 点の観測所において、年に 1 回程度の流量観測がここ 10 年程度行われており、そのデータをもとに日常の水位観測値との相関から、河川流量を導き出す検討を行った。流量観測値は同程度の水位でも観測時期の降雨状況、河床変化などによって変化が認められるため、流量のより良い推定値を見出すため、最小 2 乗推定などを行い、水位—流量関係を導いた。
- ・流域内降雨分布データの作成：上流部、中流部、下流部に分け、入力可能なデータの作成を急いでいる。

③-3-2 Kelantan 流域モデル構築と前処理・後処理ソフトウェア整備

使用する統合型水循環物理モデルでは、流域の地形・地質・植生・河川形状・都市域などを包括的にモデル化し、既往観測洪水流の再現、氾濫域の再現を行うことが目標である。しかし、地形データは十分な精度のものではなく、オープンソースの地形データ（SRTM90）を使わざるを得ない。H24 年度には SRTM90 を利用し流域境界の抽出、河川の抽出を行い初期モデルを作成したが、河川流路の滑らかさ、上流域の小河川などの表現性に問題があることが明らかとなった。

このため、衛星による地形データからの河川の抽出、河川沿いの補正などを迅速に進め、可視化しつつ作業を進めるためのソフトウェア群の整備を行った。これは、将来的にマレーシア研究者を含む海外研究者に技術移転する GETFLOWS を簡便なツールとして活用してもらうための不可欠な整備である。

現在は、開発されたソフトウェアを利用して、Kelantan 流域の離散化を行い、試計算を行っている。

図 4-G2-6 は離散化された全流域モデルの鳥瞰図である。開発した前処理プログラムによる地形補正

などを施している。図 4-G2-7 は、このモデルに降水データを与え、出力されたハイドログラフの例である。入力する降水データは、流域内の降雨分布がまだ解析中で決定できないため、我が国の沖縄県与那国島の 2012 年 1 月～2012 年 12 月のデータをサンプルとして用いている。

図 4-G2-7 は Kelantan 川の基準点である Guillemard Bridge 付近でのハイドログラフで、赤線（助走計算を行ったもの）、青線（そうでないもの）を示している。いずれも、降雨には応答し両者は最終的に、同様な流量となることが確認され、解析モデルが上流からの流水や地下浸透の影響をうまく表現していると考えられる。また、図 4-G2-8 は、飽和率の分布を示したもので、青が濃いほどの飽和率が高い個所を示している。河川部には水が集水していることが確認され、黄色で示したベクトル（図上では見えにくい）が河川付近へ流入する様子が確認されて、瀬切れ等も認められない。これは、前処理が適切に行われていることを示している。ただし、平地に水が溜まっている状況（窪地になり水の逃げ場のない状況）が見てとれる。これは、SRTM の精度や離散化の粗さにより避けられない問題であり、今後何らかの対処が必要と考えている。

最終的に確立するモデルは、全流域水系からの集水構造・地質・植生を的確に反映し、直接流出・地下浸透・湧出のメカニズムを再現するものである。モンスーン時期における流域内の降雨分布の解析を早期にフィックスし、特に氾濫被害のあった年を中心に再現解析を進める予定である。

なお、氾濫域における高精度モデルの作成はまだ行っていない。マレーシア側には氾濫域の精度の高い DEM が存在するとのことであり、その利用を UNITEN を通じて要請中である。しかし、データの所在などが明らかではなく、現在のところ未取得である。

④カウンターパートへの技術移転の状況

- ・2012 年 1 月 10 日～3 月 9 日の約 2 か月間にかけて、土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター (ICHARM) において、マレーシア研究者に対する IFAS トレーニングを行った。

- ・2013 年 12 月 17-19 日に Landslide グループに対して GETFLOWS トレーニングを行った。G2 に対するトレーニングは当初、12 月 9 日～16 日に設定されていたが、UNITEN 側の都合により 2014 年春に延期となった。今後、マレーシア或いは日本において、数度のトレーニング開催を予定している。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

Dungun 流域のモデル解析については当初予定はなかったが、マレーシア側からのデータ提供があれば、ICHARM が IFAS による解析を実施することとなった(2012JCC ミーティング)。現在、ICHARM におけるモデル化が開始されている。

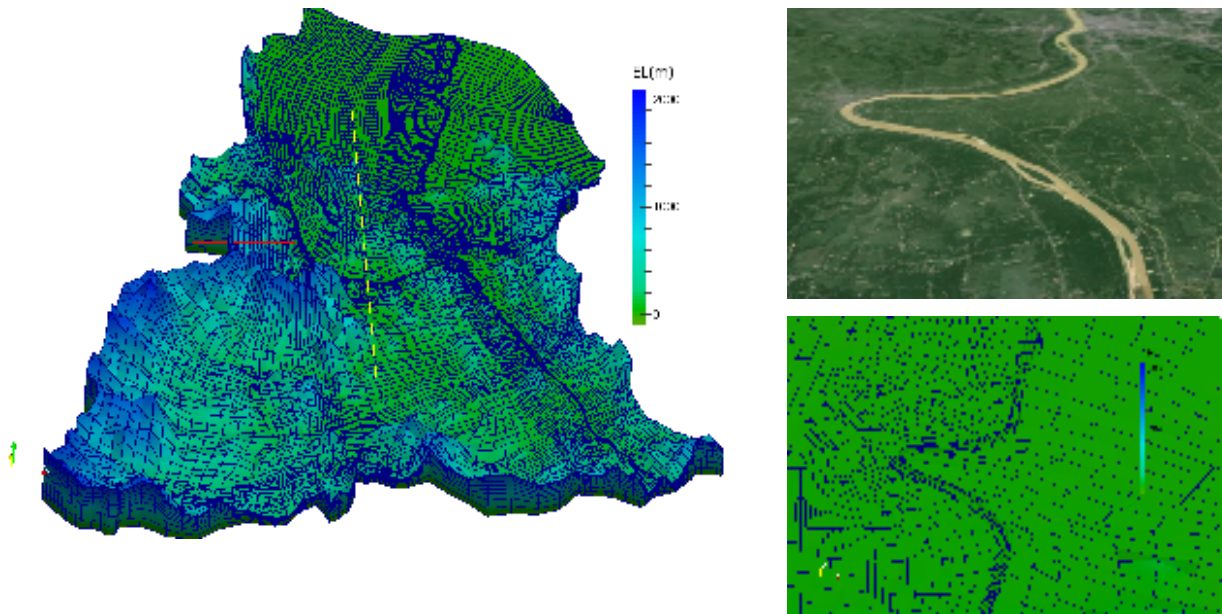


図 4-G2-6 地表面メッシュ形成プログラムを利用して作成した Kelantan 流域 3 次元モデル

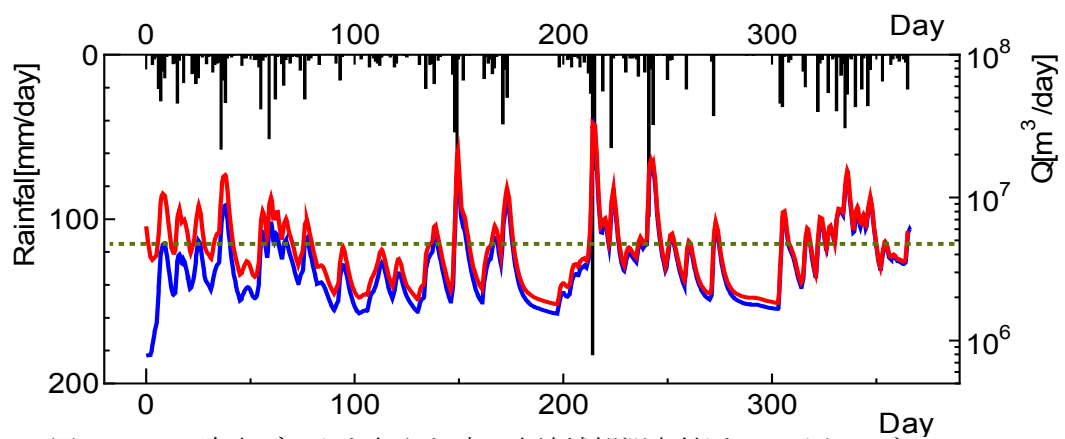


図 4-G2-7 降水データを与えた時の中流域観測点付近のハイドログラフ

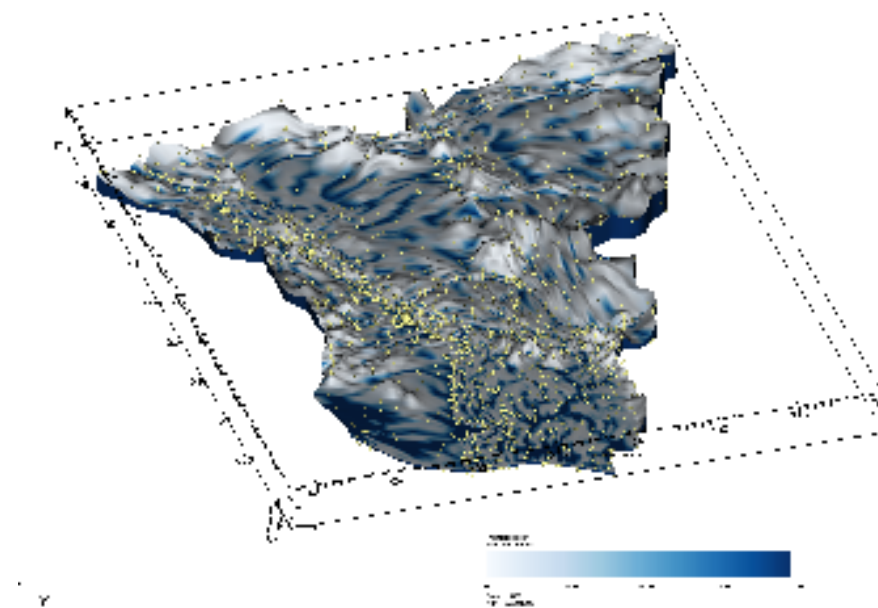


図 4-G2-8 降水データを与えた時の流域地表面の水分分布と流れのベクトル

2.3 Landslide グループ (G3)

①研究のねらい

マレーシアの自然環境、降雨特性を考慮した地すべり災害リスク評価手法の開発および早期警戒情報に関する斜面モニタリング手法の開発を行う。

②研究実施方法

次の研究を行う。

- ・マレー半島における地すべり脆弱性の評価

過去の地すべり災害データや衛星データによる地表面情報を利用し、潜在的地すべり危険域の抽出

- ・斜面モニタリング

地すべりに関するフィールドデータ収集、および新たなモニタリングステーションの選定・設置を行う。

- ・数値解析による地すべり危険度評価技術の開発

水文地質解析を用いて、2D/3D 物理モデルを作成し、地すべり発生予測手法を開発する。

③当初の計画に対する現在の進捗状況

③-1. マレー半島における地すべり脆弱性の評価

マレーシアでは、道路や構造物建設のための地形改変や多雨な気候による風化した地質の影響が多いと考えられている。崩壊の規模においては、道路沿いや住宅地近傍斜面等で比較的小さい崩壊が多いことが崩壊データの分析より明らかである。そこでマレー半島（広域）の地すべりリスク評価については、過去の災害地点での現地調査やJKRや鉄塔付近の過去の地すべり記録などを元に統計的検討を行った。ここでは、マレー半島における土地利用分類と地質分類図を作成し、収集した崩壊データと比較した（図1）。今後、崩壊データや土地利用等を収集し、マレー半島における脆弱性マップを構築する。

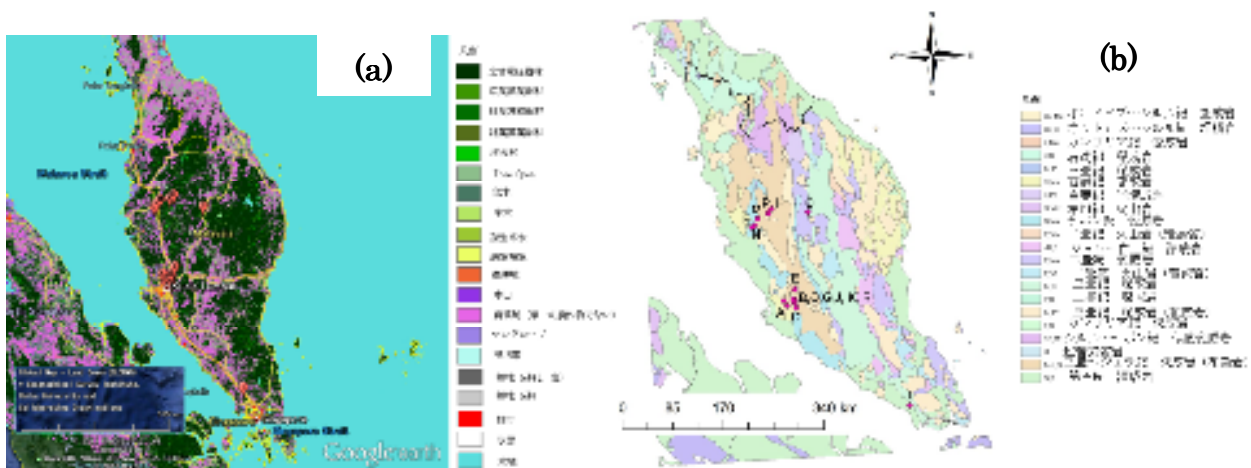


図 4-G3-1 マレー半島における土地利用分類(a)及び地質分類(b)と斜面災害発生地点の関係

表 4-G3-1 マレー半島における斜面災害発生記録

	発生日	場所	参考情報	年代	地質
A	1971 年 1 月	Bukit Gasing, Petaling jaya	e	中生代 三畳紀	花崗岩
B	1988 年 9 月	Ulu Kelang, Ampang Jaya	e	古生代 オルドビス紀	変成岩
C	1993 年 10 月 24 日	Landslide in Km58, Kuala Lips-Gua Musang road, Cameron Highland	b	古生代 二畳紀	変成岩
D	1993 年 12 月 11 日	Highland Towers collapse after landslide	c	古生代 オルドビス紀	変成岩
E	1995 年 6 月 30 日	Karak Highway - Genting Highland slip road, Selangor – Pahang border, West Malaysia	c	中生代 三畳紀	花崗岩
F	1996 年 8 月 29 日	Pos Dipang (South-east from Ipoh city, near Gopeng town)	b	古生代 デボン紀	変成岩
G	1999 年 5 月 15 日	Bukit Antarabangsa Hulu Kelang, Selangor	b	古生代 オルドビス紀	変成岩
H	2000 年 6 月 6 日	Mudflow in Cameron Highland	b	中生代 三畳紀	花崗岩
I	2001 年 12 月 27 日	Kg. Sri Gunung Pulai, Pontian, Johor	a	中生代 三畳紀	堆積岩
J	2002 年 6 月 12 日	Bukit Antarabangsa	d	中生代 三畳紀	花崗岩
K	2002 年 11 月 20 日	Taman Hilview Landslide, Selangor	c	古生代 オルドビス紀	変成岩
L	2003 年 11 月 26 日	Bukit Lanjan	d	古生代 二畳紀	変成岩
M	2004 年 10 月 11 日	Km 302, North South Expressway, Gunung Tempurung, Perak	d	古生代 デボン紀	変成岩
N	2006 年 5 月 13 日	Kampung Pasir	c	古生代 デボン紀	変成岩
O	2011 年 5 月 21 日	Orphanage Landslide	c	中生代 三畳紀	花崗岩
P	2011 年 8 月 7 日	Sg. Ruil (Perkampungan Orang Asli) Cameron Highlands, Pahang State		中生代 三畳紀	花崗岩
Q	2012 年 11 月 15 日	Ampang Hulu Langat	d	古生代 オルドビス紀	変成岩
R	2012 年 12 月 28 日	KL, concrete face fall (Puncak Setiawangsa, Kuala Lumpur)	d	古生代 オルドビス紀	変成岩

③-2 斜面モニタリング

H23 年から H25 年度にかけてモニタリングサイトを設置した。図 2(a)に位置図を示す。East-West Highway 沿いの斜面(No.1,2:USM 担当)と、ケランタン川流域 (N0.3 : UNITEN 担当)である。事例として、No.2 の遠景(図 2(b))と断面図(図 2(c))を示す。このような調査結果を踏まえ、図 2(d)に示すようなモニタリングシステムと各種計測機器(図 2(e))を設置した。No.2 における観測機器は、伸縮計設置 2 台、土壌水分計設置 2 台、地下水計、雨量計等を設置し、観測システムとして、データロガー、太陽光パネルおよび電源設備と携帯通信システム、データサーバー、Web 表示システムとなっている。

図 3 にモニタリング観測結果事例を示す。(a)伸縮計、(b)地下水位、(c)時間雨量となる。降雨(図 3(c)参照)に応じて、地下水位(図 3(b)参照)が、素早く対応している。その状況を反映して斜面が変形(図 3(a)参照)している。

今後、データを蓄積し、このサイトの斜面危険度を評価していく。

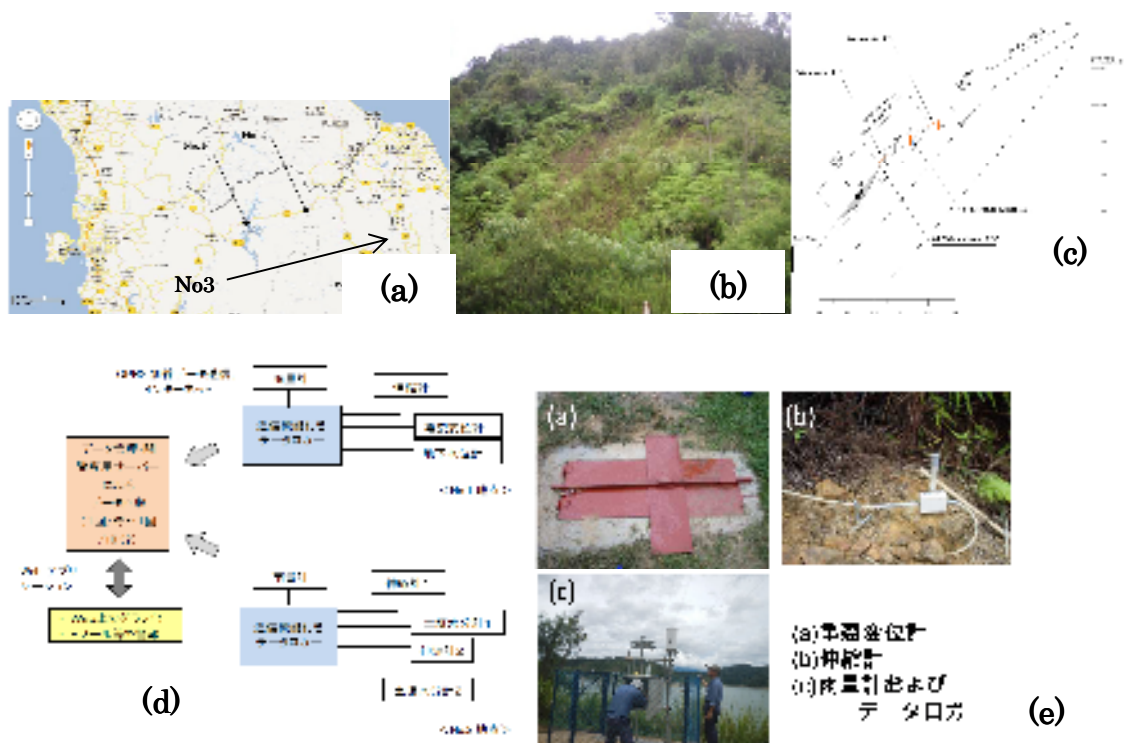


図 4-G3-2 地すべりモニタリング地点の(a)位置、(b)No2 遠景、(c)断面、(d)システム例、(e)計測機器例

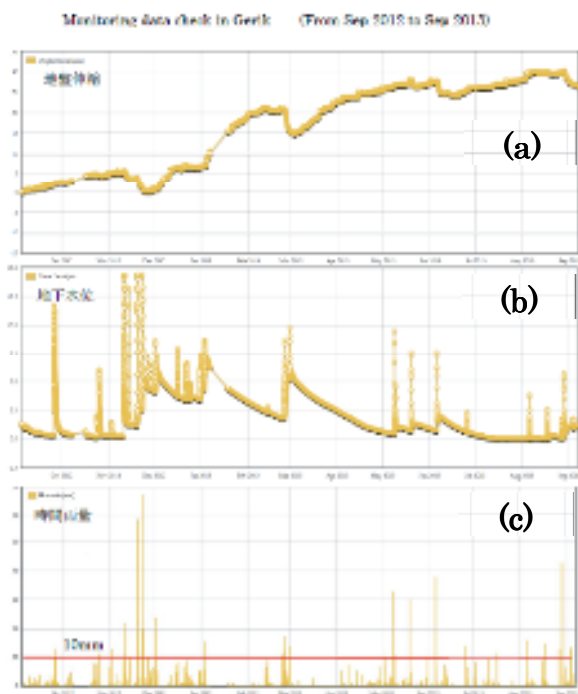


図 4-G3-3 モニタリング観測結果事例(No.2) (a)伸縮計、(b)地下水位、(c)時間雨量

のラインを設定することが多い。しかし、マレーシアでは、このデータの蓄積がないため、モデルを設定し、理論的にこのラインを設定する。この時に、降雨データや地下水位、斜面の構造や土のパラメータが重要である。現在、East-Weat Highway のモニタリングサイトに対して作成中である。この決定方法も含めて技術移転を行っていく予定である。

④カウンターパートへの技術移転の状況

プロジェクト初期にあたって、お互いの研究環境を理解するため、日本、マレーシアにおいて各大学間の研究状況および実験施設の視察等の技術情報交換は活発に行われた(H23年7月～H25年3月)。また、マレーシアでの国際会議に参加して論文発表、情報共有を行い、日本研究者の所属機関においても研究に関する講義や施設見学等の技術交流が行われた。

マレーシアの研究者が日本に赴き、日本の防災科学技術研究所の大型降雨施設における崩壊実験や施設見学が実施された(H23年12月、H24年1月)。また日本研究者の所属する各大学(京都大学、九州大学、茨城大学)においても研究に関する講義や施設見学等の技術交流が行われた。

2011年7月～2012年1月の間3回にわたり、マレーシア研究員を日本に招へいし、下記活動を実施した。

- ・ 防災科学技術研究所、東京大学、茨城大学、京都大学、九州大学に訪問し、本プロジェクト参加者と今後の地すべり研究計画に関する打合せを実施した。また、プロジェクト参加機関以外の関連施設にも訪問し、産業技術総合研究所の研究者とは地下水挙動と地すべりの関係性に関して議論し、国土地理院の研究者からは空間情報整備状況に関して情報収集を行った。
- ・ 防災科学技術研究所の大型降雨実験施設にて人工降雨実験、斜面崩壊実験を見学した。また、実験に使用された傾斜計その他観測機材の説明を受け、本プロジェクトでマレーシアのサイトに設置する機材に関して議論した。
- ・ 防災科学技術研究所のHi-net 高感度地震観測網、およびXバンドMPレーダ雨量観測システムを見学し、本プロジェクトとの関連性、活用法について議論した。また、京都大学防災研究所においては、現場せん断試験機および高速高圧せん断試験機の説明を受けた。
- ・ 防災科学技術研究所が神奈川県藤沢市に設置している、地すべりモニタリングサイトを見学し、本プロジェクトでマレーシアに設置する観測サイトに関して議論した。
- ・ 東北震災被災地である北茨城市を訪問し、被害状況の巡検を行った。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし

2. 4 Data Center グループ(G4)

①研究のねらい

衛星観測、洪水/地すべり災害、災害軽減対策に関するデータを含む総合的な災害情報データベースを構築する。

②研究実施方法

②-1. データ集積、共有システムの構築

研究者間の効率的かつ迅速な情報共有および学際的な共同研究を実現するために、ネットワーク上に共有データベースシステムを構築する。このシステムにより、日本－マレーシア間のデータ共有が容易になり、グループ間の最新研究成果の相互利用および融合が促進され、共同研究の推進が期待される。また、データの重複や更新の遅れ、情報の紛失といったリスクを軽減し、研究成果の安全かつ継続的な管理が実現される。

②-2. 洪水/地すべり/災害軽減対策に関する総合的災害情報データベースの構築

各グループおよび相手国研究機関が収集した各種空間情報を、GIS をプラットフォームとして位置情報をもとに整理・統合し、上記共有システムに集積する。また、本研究に係わる過去の研究事例や関連資料などを体系的に整理する。さらに、各グループの研究成果である地すべり災害情報システム、洪水ハザード情報システム、災害リスク管理・軽減・災害教育・危機対応に関する情報システムもデータベースに統合する。以上の情報統合により、総合的災害情報データベースを構築する。この体系的なデータベースの構築により、プロジェクト終了後も研究成果が散逸することなく、プロジェクト終了後のマレーシア国における自立発展的な防災研究・対策においても、それらの研究成果が効率的かつ継続的に利用されることが期待される。

③当初の計画に対する現在の進捗状況

③-1. データ集積、共有システムの構築

- ・データベースに必要な機材に関して両国間でメールベースの議論を重ね、購入機材を調達した。
- ・データセンターの基本設計に関しては、2012 年 2 月 24 日に千葉大学環境リモートセンシング研究センターにおいて、両国研究者総勢12名によるグループ4 (Data Center)ミーティングを開催し、現在の機材調達情報の共有・確認、およびデータセンター基本設計の確認作業を行った。
- ・相手国が保有するデータ、特に国土の基本情報などの提供に関しては、様々なセキュリティや管理者の問題、また実際問題として、データ保有者個人の研究資源をプロジェクト全体で共有することによる研究者自身の研究に対するプライオリティ喪失に対する強い懸念等が存在し、当初の見込みよりも大幅に作業が遅れていた。しかし H24 年度よりその打開策として、マレーシアから数か月単位の中期招へいを実施し、実際に日本人研究者と一定期間共同で作業することで相互の研究計画のより一層の理解および信頼関係の向上に努め、日本側の意向を十分に理解したマレーシア側研究者が主体的に収集作業を進めるなどして、データ収集作業を進展させた。
- ・以下のような構想を日本側から発案しており、現在マレーシア側と協議中である。
- ・G1、G2、G3 のそれぞれのデータのためのデータベース機能
 - データアクイジション機能は含まない。
- ・それぞれのデータ生成のためのフロント、エンドプロセッサ (FEP) 機能
 - Input の時の内部フォーマットから DB 登録のための共通フォーマットへの変換や属性付与、データストリーム生成機能などは含まない
 - Output データは、EWS の仕様と整合をとる必要があり、その整合をとるための機能などは含まない
 - したがって、FEP は各グループで作成する
 - 各 G のプロセスエンジン (たとえば、Getflows や IFAS など) はデータセンターに含めない。

- ・G1 の場合、GIS は各 G の共通とする(データベースの一部を担うと考えている)が、ERDAS はアプリケーション(エンジンと考えている)なので、データセンターには含まない。
- ・UNITEN グループから提供してもらったデータは、フォーマットが多様であり、デジタルではあるが PDF ファイルや、Excel ファイル、及び CAD ファイルなどが存在した。そこで、2次利用が出来る様に、フォーマットをシェープファイルに変換統一し、また、画像データ(ラスターデータなど)についてはハンドトレースによりデジタイズを行い、ベクタデータ(シェープファイル)に変換を行い、フォーマットの統一を図った上で、GIS への登録を行った。
- ・収集及び作成した空間データについては幾何補正や地図投影法等をその縮尺に合わせ統一化を図り、また、各種主題図で用いられている凡例の整理・統一化を進めている。さらに、作成された年を明らかにする調査や衛星データとの突き合わせ作業を実施していく予定である。
- ・現段階において、ケランタン地域におけるデータは、概ね揃いつつあるがデータの出所、作成者、作成年などが不十分であること、さらにケランタン州以外のデータは全く揃っていない。この不足情報の収集にまだしばらくの時間を要する見込み。

③-2. 洪水/地すべり/災害軽減対策に関する総合的災害情報データベースの構築

- ・2012/11/23 の第2回 JCC において、「既存関連データの収集・整備は現在進行中であり、どのようなデータベースが最適であるかはまだ議論できる段階ではない。現在無理にデータベースフレームワークを詳細に設計し、それに合わせて機材や人材を準備しても、今後の研究進展に伴う変更や修正等が必要になる恐れが高く、またデータベーステクノロジーの急速な進化により機材の陳腐化も避けられない。したがって、今後一定の成果が出始めた段階で両国であらためて検討することとし、この時点では拙速に確定しない。」ことが提案され、会議の場で了承された。
- ・収集したデータ(図 1)に関しては、地理情報科学分野におけるデファクトスタンダードである ESRI 社の ArcGIS ソフトウェアを用いてシェープ形式で整理している。

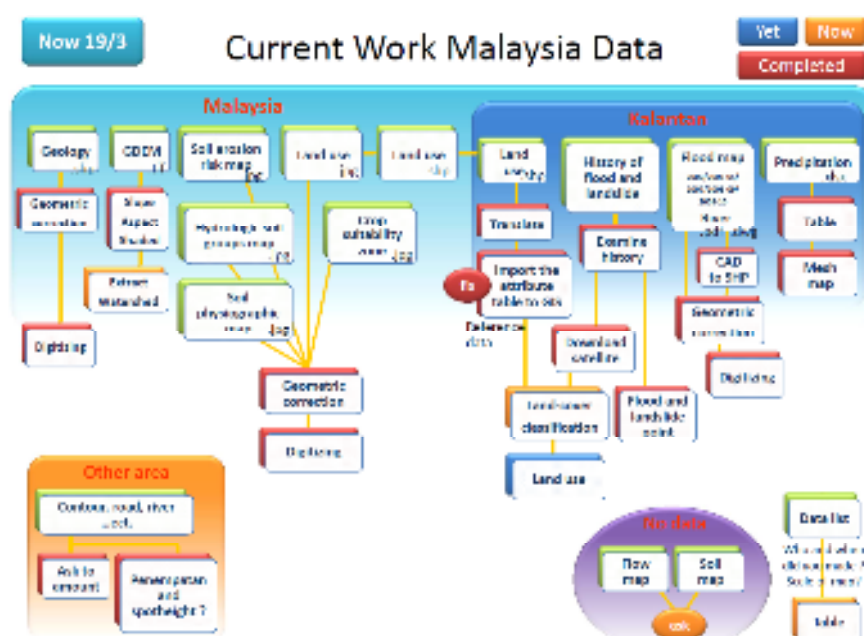


図 4-G4-1 データ構造の概念と収集状況

④カウンターパートへの技術移転の状況

マレーシアから数か月単位の中期招へいを実施し、実際に日本人研究者と一定期間共同で作業することで相互の研究計画のより一層の理解および信頼関係の向上に努めている。一連の共同作業を通じて、データの収集・加工および GIS をプラットフォームとしたデータベース化の技術を共有している。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

相手国データに関して、様々なセキュリティや管理、またデータ保有権に関する問題が発生しており、当初の見込みよりもデータ収取作業が遅れている。

2.5 EWS グループ(G5)

①研究のねらい

地方政府や住民が利用できることを目的にした地すべりおよび洪水災害に関するリスクマネジメントシステムの試行的構築を行う。

②研究実施方法

(1) 早期警戒システムの開発

- ・地域の特徴を考慮した物理モデルによる地すべり・洪水危険度評価システムによる早期警戒情報システムの計画
- ・地すべり・洪水における現地モニタリングシステムの試行的な設置と利用
- ・地方政府と住民との防災意識の格差を減少させるためのリスクコミュニケーションツールを統合したシステムの提供
- ・洪水に関する危機管理システムの既存の運用手順の改良を目指した研究
- ・地すべりと洪水災害の統合型リスクマネジメントシステムの提案

(2) マレーシア政府に関する最新の地すべり・洪水災害の危機管理システムの調査

③当初の計画に対する現在の進捗状況

③-1. 早期警戒システムの開発

早期警戒システムの表示部(プロトタイプ)として、防災科学技術研究所が日本国内でのリスクコミュニケーションツールとして開発した「e コミュニティ・プラットフォーム」のうち、特に地理空間情報を活用するツールである「e コミマップ」を活用することとした。「e コミマップ」は、様々な地理空間情報を重畳して扱うことができるツールで、すでに日本では自然災害に関するリスクコミュニケーションにおいて実績がある上、オープンソースソフトウェアとして提供されている。そこで、このソフトウェアを英語化した上で、さらに、画面上の表記を管理者が自由な言語表現にカスタマイズできるよう改修した。これにより、多民族国家であるマレーシアでの多様なリスクコミュニケーションに対応できるツールとして利用できるようになった。その上で、このツールで扱えるデータとして、現在、インターネット上で公開されているマレーシアの土砂災害に関連する地理空間情報を登録し、ツール上で表示、

統合できるよう整備した。さらに、ここに Landslide グループが設置した観測センサーの情報を、センサーの国際標準形式である Sensor Observation Service に則って表示できるよう開発した。これにより、今後、様々なセンサーや地理空間情報の追加、更新に対応できるサイトを構築することができた。本サイトは試験運用を開始し、日本・マレーシア両国の研究者がアクセスし、有効性の評価検証を行っている(図 4-G5-1(a)～(c))。

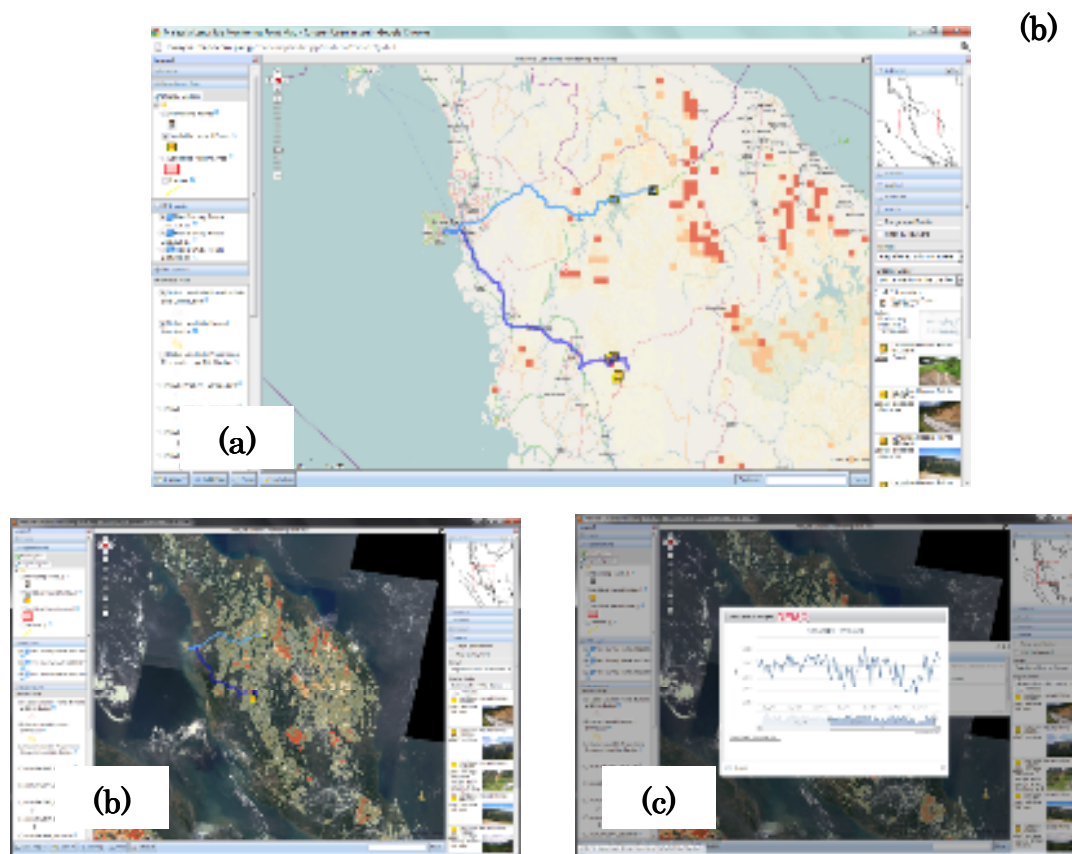


図 4-G5-1 早期警戒システム(表示部)概要 (a)警戒情報表示、(b)土砂災害ハザードマップ表示、(c)モニタリングデータ及び危険度表示

③-2. マレーシア政府に関する最新の地すべり・洪水災害の危機管理システムの調査

マレーシアでの資産災害リスクマネジメントの根本となる考え方は、国家災害救援・防災委員会(The National Disaster Relief and Preparedness Committee, NDRPC)で決定された方針に基づいている。

災害マネジメントレベルは、図 4-G5-2(a)で示すように、地域レベル、州レベル、中央レベルに分かれており、本プロジェクトでは、地域レベルにおいて災害情報を提供できることを目指している。また、図 4-G5-2(b)に本プロジェクトで考えるリスクマネジメントの考え方を示す。本プロジェクトでは、「早期警戒情報」、「地すべり・洪水ハザードマップの活用」、「地域防災教育の向上」を合わせたものを考えている。それぞれ異なる社会への出口となる3つのシステムの観点から、当プロジェクト全体のシステム構成のあり方を検討し、それぞれが自律分散で相互運用できる構成を提案した(図 4-G5-2(c))。

また H25 年度は、地域防災活動の具体的な地域として、east-west Highway 沿いのいくつかのコミュニティで行うことになった。今後、本プロジェクトでの成果を教材として活用し、早期警戒情報やハザードマップの理解力の向上に役立つことが期待される。H25 年度は、「e コミマップ」マレーシア版を用い

てその地域における活動を行う。

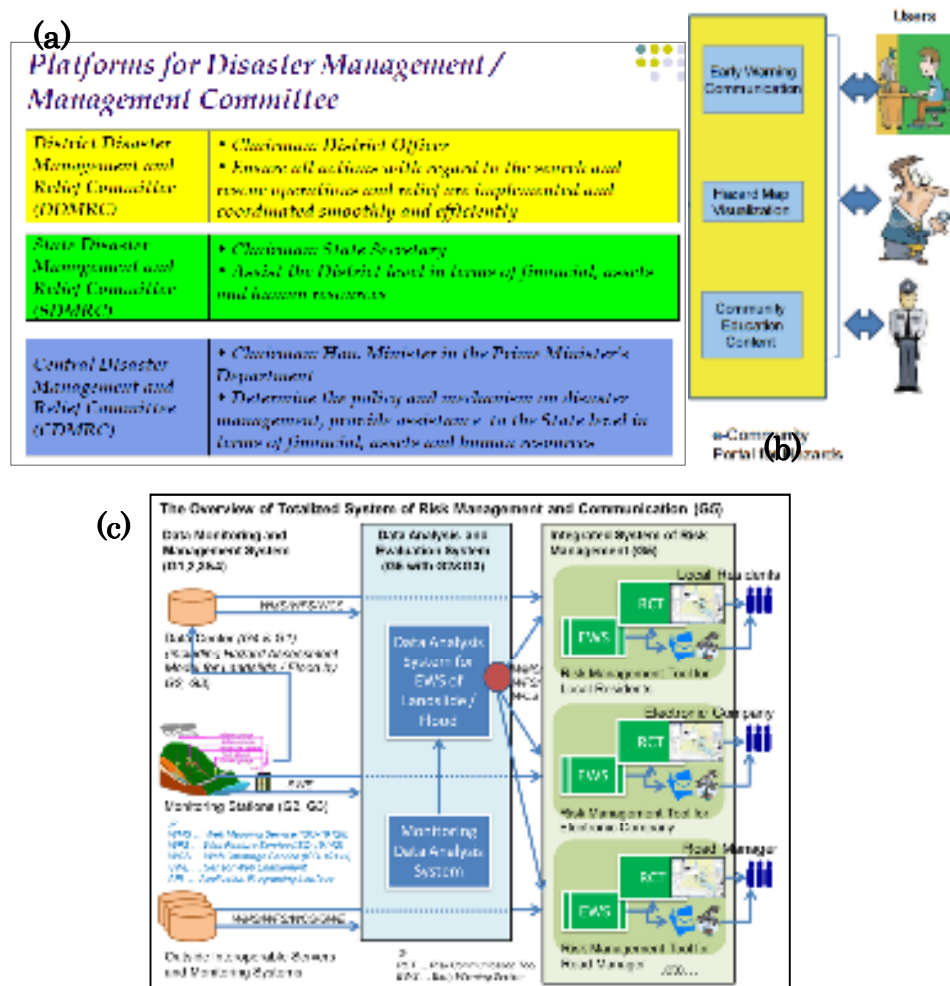


図 4-G5-2 リスクマネジメントの考え方の構成図 (a)マレーシア国における災害リスクマネジメントのレベル、(b) 本プロジェクトにおけるリスクマネジメントの包含する内容、(c)本プロジェクトにおける災害リスクマネジメントの構成

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 0件、国際 0件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0件、海外 0件)
- ③ 論文詳細情報 なし

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0件、海外 0件、特許出願した発明数 0件)
- ① 本プロジェクト期間累積件数(国内 0件、海外 0件)

4. プロジェクト実施体制

(1) RS/GIS グループ (リモートセンシングおよび地理情報システム (GIS) を用いた、地表環境の経時変化および現況の解析システムの構築)

① グループリーダー: Josaphat Tetuko Sri Sumantyo (千葉大学 教授)

② 研究項目

- ・自然環境(地質、気象など)、社会環境(インフラ、人口、経済など)、過去の災害履歴に関するデータを収集する。
- ・リモートセンシング技術を用いて、地すべり/洪水解析用に高精度 DEM を作成する。
- ・時系列空間情報から洪水/地すべり災害危険域を抽出する方法を開発する。
- ・災害発生要因の重み付け評価を行い、メッシュ単位でリスクを評価する。
- ・近い将来に使用されることとなる Unmanned Aerial Vehicle(UAV) 搭載型 CP-SAR 及び光学センサーによる観測の実施可能性を研究する。
- ・過去の災害履歴およびモデルシミュレーションの結果と比較することで、災害危険域の妥当性を評価する。

(2) Flood グループ (Kelantan 川流域全域を対象とした統合的かつ高度な洪水流出数値解析モデル(全領域モデルおよび高解像度モデル)の開発)

① グループリーダー: 登坂 博行 (東京大学 教授)

② 研究項目

- ・Kelantan 川流域既存フィールドデータ収集、および新たな観測機器の設置を行う。
- ・統合洪水解析システム(IFAS)に基づく Kelantan 川流域、および Dungun 川流域の洪水流出再現・予測モデルを構築する。
- ・三次元水文モデル(GETFLOWS)により Kelantan 流域水文・地形・地質を反映した洪水流出再現・予測モデルを構築する。
- ・三次元水文モデル(GETFLOWS)により、氾濫地域の高解像度モデルを構築し、再現・予測を行う。
- ・Kelantan 川流域において現在マレーシア側が検討中の降雨予測結果を IFAS および GETFLOWS (M3DM 及び H3DM) モデルに取り入れ、比較計算などを通じて、両モデルの信頼性の向上を図る。
- ・洪水ハザードマップの作成、EWS への組み込みを行う。
- ・洪水・氾濫解析に携わる人材を育成する。

(3) Landslide グループ (マレーシアの降雨特性や社会基盤開発の影響を考慮した地すべりリスク評価システムの構築)

① グループリーダー: 酒井 直樹 (防災科学技術研究所 主任研究員)

②研究項目

- ・地すべりに関するフィールドデータ収集、および新たなモニタリングステーションの選定・設置を行う。
- ・衛星情報や過去の地すべりデータを用いた統計解析により、マレー半島(広域)の地すべりリスク評価を行う。
- ・水文地質解析を用いた 2D/3D 物理モデルを基に、地すべり発生予測手法を開発する。
- ・モニタリング地域(局所)に対して提案された解析モデルによるリスク評価、警戒基準の決定に関する研究を行う。
- ・地すべり災害に携わる研究者・技術者の育成を行う。

(4)Data Center グループ(衛星観測、洪水/地すべり災害、災害軽減対策に関するデータを含む総合的な災害情報データベースの構築)

①グループリーダー;原 政直 VTI 代表取締役

②研究項目

- ・GIS を主たるプラットフォームとして、本プロジェクトの研究により得られた時間・空間情報の統合管理システムを構築する。
- ・衛星情報・フィールド観測情報を反映した地すべり災害情報システムを構築する。
- ・気象・水文データセットに基づく IFAS と GETFLOWS による数値解析と統計解析を活用し、洪水ハザード情報システムを構築する。
- ・災害リスク管理、軽減、災害教育、危機対応に関する情報システムを構築する。
- ・国際的な認知を目的として防災科学技術研究所(NIED)によって設立された防災科学技術情報基盤(DRH)の発展に貢献する。

(5)EWS グループ(地方行政および地域社会における有効利用を目指した、洪水/地すべり災害のリスク管理システムの試験的な提案)

①グループリーダー:酒井 直樹(防災科学技術研究所 主任研究員)

②研究項目

- ・マレーシアの関係政府機関における最近の降雨関連自然災害管理システムの状況をレビューする。
- ・地域特性を考慮した数値解析により洪水・地すべりの早期警報システム(リアルタイムデータを使用するハザードマップ)を立案すると共に、降雨関連地盤災害管理に関する既存の標準実施要領を強化する。
- ・モニタリング地域における潜在的な洪水/地すべり危険箇所において早期警戒システムを試行的に設置および運用する。
- ・地方行政と地域社会との情報伝達促進のため、防災教育、意思決定、応急対応計画等の災害リスクコミュニケーション手法を提案する。
- ・地すべりおよび洪水の包括的な災害リスク管理システムの試行版を提案する。

以上