

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2012～2015

課題番号：24251004

研究課題名(和文)水環境モニタリングからみる紅河流域都市の変容と持続可能性 - ハノイを中心として -

研究課題名(英文)Urban Transformation and Sustainability of Red River Basin in Vietnam Based on Water Environment Monitoring - Focusing on Regional Hanoi -

研究代表者

米澤 剛 (Yonezawa, Go)

大阪市立大学・大学院創造都市研究科・准教授

研究者番号：90402825

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の主な成果は次の3つがあげられる。第一にハノイにおける内水氾濫や地盤沈下の基盤データとなる地形起伏と地下構造を3次元的に可視化した。第二にラオカイにおける地すべりの現状調査および変動モニタリングをおこない、地すべりの要因と人間活動との関係を明らかにしたことである。第三に紅河における水質および河川堆積物の分析をおこない、ヒ素と鉛の運搬課程を解明した。

研究成果の概要(英文)：In Vietnam, environmental problems (land subsidence, flood, groundwater pollution and so on) have been increasing in recent years. The main reason is rapid urbanization and water control. In this study, we can clarify the relationship between human behavior and urban environments. Firstly, we have generated a digital topographic map and a 3D geologic model in Hanoi. Secondly, we have been monitoring the landslide and the groundwater level in Lao Cai. Landslides are related to groundwater and land development. Thirdly, we analyzed the level of toxic elements in the Red River water and discussed on the transportation processes along the river channel.

研究分野：地域情報学

キーワード：ベトナム ハノイ ラオカイ 紅河 DEM ボーリング 水質 地すべり

1. 研究開始当初の背景

北部ベトナムを流れる紅河は中国の雲南から南東に流れ、ハノイの北西から紅河デルタを形成し、トンキン湾(東シナ海)に注ぐ全長 1,200 キロメートルの国際河川である。その流域の都市は、上流のラオカイ、イエンバイ、中流のハノイ、下流のナムディン、タイピンなどがある。

中でも首都ハノイは北部ベトナムの中心都市であり、東南アジアの中でも成長著しい都市の一つである。ハノイはドイモイ政策以降の経済発展にともなって都市化が急速に進んでおり、内水氾濫、地盤沈下、地下水汚染、河川水質汚濁、廃棄物処理、大気汚染などの都市環境問題が年々深刻化している。とくに水に関係する環境問題は、住民生活の安心・安全を脅かすだけでなく、経済的損失も大きく、不測の事態へつなげる可能性もある。

関連する先行研究ではハノイの歴史的都市変容を分析するため基盤データの収集を中心におこなっていたため、得られたデータを考慮し、詳細な分析をする必要があった。また、ハノイだけでなく上流都市の問題も浮き彫りにし、紅河という流域レベルで問題解決に対応する必要があった。

2. 研究の目的

急速な経済発展を遂げてきたベトナムは、現在主要都市だけでなく周辺の中核都市の都市化も著しく進行している。各都市間は高速道路でつながり、人間の移動が容易になってきている。そのため都市や都市周辺の自然環境は悪化し、洪水(内水氾濫)、河川・地下水の水質汚染、地盤沈下、地すべりなどの都市環境問題が多発している。ベトナムは南北に細長い国であり、それぞれ北部・中部・南部の都市が抱える都市環境問題は異なるが、それぞれの要因には人間活動が深く関わっていることが推測される。

本研究では北部ベトナムを流れる紅河流域都市のハノイとラオカイに焦点をあて、それぞれの都市の問題を明らかにするとともに人間活動を含めた社会構造が都市環境に与える影響を解明する。そして、これまでベトナムを中心に展開してきた関連研究を地域情報学の手法を用いて融合し、紅河流域都市における持続可能な都市の在り方を考察する。

3. 研究の方法

本研究は紅河の中流域都市のハノイと上流域都市のラオカイにおける水環境問題と人間活動の関係を明らかにするために研究領域を次の3つに分けて研究を進める。

(1) ハノイにおける地形と地下構造の把握

大雨による洪水(内水氾濫)の緩和を目的として、ハノイの詳細な地形起伏を明らかにする。精度の高いデジタル地形モデル(Digital Elevation Model)を作成する。ま

た、ハノイでは生活用水の90%近くを地下水に依存している。地下水の急激な汲み上げによる地盤沈下も報告されている。このことから、地下構造の状態を把握するために3次元地質分布図(3次元地質モデル)を作成する。このため地形や地質情報を収集する必要があるが、現地協力機関と共同してハノイを中心とした地形データやボーリングデータを収集する。また、ボーリングデータがない場所では実際にボーリングをおこない、データを収集する。

(2) ラオカイにおける地すべり調査

野外調査をベースに地すべりおよび地下水の変動モニタリングをおこなう。また、地すべり地域の気象データを収集するために気象ステーションを設置し、365日の常時モニタリングをおこないネットワークを利用してリモートでデータを収集する。ラオカイ周辺の地すべり調査をおこない、地すべりを起こす要因と対策を考察する。

(3) 紅河における水質および河川堆積物の分析

雨季と乾季に紅河本流と支流で河川水および河川堆積物を採取する。現地で水温・電気伝導度・pH・ORP(酸化還元電位)・DO(溶存酸素)を電極を用いて測定する。一般水質項目・微量元素・水の酸素と水素の安定同位体比・鉛の安定同位体比を日本で分析し、河川堆積物から鉱物組成や微量元素などの分析を行う。

4. 研究成果

本研究の成果は(1)ハノイにおける地形と地下構造の把握、(2)ラオカイにおける地すべり調査、(3)紅河における水質および河川堆積物の分析、の3領域についてまとめられる。

(1) ハノイにおける地形と地下構造の把握

ハノイを中心として収集した地形や地質に関連したデータは、標高測量データ約24,000点、ボーリングデータ約160点、都市計画地図(2,000分の1)約50枚である。ボーリングデータは井戸掘削用のデータである。しかしながら、岩石・土の表記が統一的な記載表示ではないため、本研究ではJACIC((財)日本建設情報総合センター)の土質コードにもとづいた岩相区分をおこなった。この結果、収集した160点のボーリングデータは、30の岩石・土に区分することができた。岩相区分をおこなったデータから春山(2004)が提示した紅河デルタの地質構造モデルと比較し、岩相対比をおこなった。この結果、対象地域を上位から完新世上部層(Thai Binh Formation)、完新世中下部層(Hai Hung Formation)、更新世上部層(Vinh Phuc Formation)、更新世上中部層(Hanoi Formation)、更新世下部層(Lechi Formation)

の5つの地層に区分した。

対比結果にもとづいて層序に対応したボーリング地点データを整理し、論理的な整合性（地質構造の論理モデル）を確認した。すべてのボーリングデータは、櫻井ほか（2008）の岩相対比支援システムに入力した。

地形の起伏については、標高測量データからハノイ市の中心部（8km×8km）の地形面のDEMを野々垣ほか（2008）にもとづいて作成した。また、地形面のDEMと同じ範囲の4つの地質境界面のDEMも作成した。地質構造の論理モデルと地形面・地質境界面のDEMを用いて、今回はGRASS GISを利用して3次元地質モデルを構築し、可視化した（図1）。

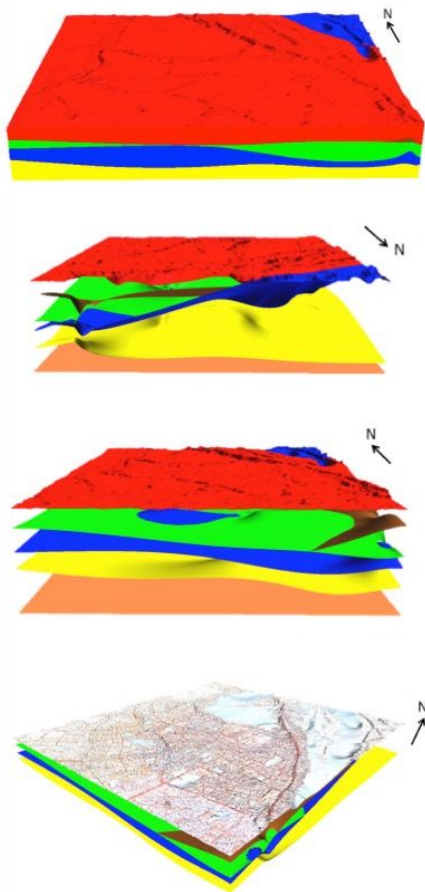


図1 3次元地質モデルの可視化例。

(2) ラオカイにおける地すべり調査

ベトナム北部のラオカイ省の中心都市ラオカイと山岳リゾート地として開発されたサパ間は約40kmの幹線道路（QL4D）によって結ばれている。この幹線道路は海外からの観光客の導入やホアンリエン山脈を横断するベトナム北部の物流確保のために重要ルートとなっている。ラオカイとサパ間は紅河本流の渓谷（標高90m）からサパの山岳盆地（標高1500m）までの山岳道路となっており、ゴイダム川の左岸渓谷斜面に沿って建設されている。このほぼ中間地点のモンセン川との合流地点の北側斜面には、幅90m、奥行き200m、高さ120mに及び地すべり（モンセン

橋地区地すべり）が発生している（図2）。本研究ではこのサイトでのボーリング調査や周辺地質の状況、気象データの取得、地形と土地利用の特徴について検討を行った。また、よりサパに近い地区のQL4D道路沿いのチュリン地区でも小規模な地すべり地が存在し、棚田開発との関係が顕著に認められるほか、サウチャ地区では、古い大きな地すべり地形が認められ、現地での地すべりで移動した移動体の確認もおこなうことができた。

山岳地ではこれまで焼畑中心であった山地斜面利用が、棚田開発に転換され、山地斜面下部の強風化部は選択的に棚田化している。上方の渓流部分から灌漑水路によって導水された水は、斜面下部に展開された棚田に供給され、その水の一部は、深層風化した斜面内部に浸透し斜面の強度低下と地下水上昇に寄与するものとみられる。



図2 モンセン橋地区の地すべり。

(3) 紅河における水質および河川堆積物の分析

雨季（2013年7～8月）と乾季（2014年4月）にベトナム領内での紅河本流と支流で河川水を採用した。試料採取地点は、河川水中の総ヒ素濃度とともに図3に示す。雨季と乾季では濃度が大きく異なるが、いずれの場合でも最高濃度は最上流地点で観測された。雨季の河川水中ヒ素濃度はWHO環境基準値の10ppbを超えないが、乾季では上流部では、溶存ヒ素が20ppb、総ヒ素では30ppbを超える地点があった。この範囲では、本流の南側のダー川と挟まれた位置に、ベトナム最高峰を有する3,000m級のホアンリエン山脈がある。このことから、ヒ素は大部分が中国領内から流入してくること、ホアンリエン山脈からの流入によって、ヒ素濃度も希釈されていることが明らかであった。また、ダー川、ロー川からの流入によってヒ素濃度が高くなることはない。ヒ素の原因物質は中国領内にあると言える。同様に鉛についても分析をおこなった。

中国・雲南省の岩体に由来するヒ素や鉛は、紅河本流の河川中にWHO環境基準値を超えて含有されることがある。しかし、鉛の大部分とヒ素の半分程度は砕屑性粒子や懸濁物にあり、ヒ素含有量も洪水によって希釈される雨季には低濃度になる。したがって、砕屑性粒子を沈殿させる、可能な限り、ベトナム領

内を流れる支流の河川水を用いるなどの対策により、これらの有害元素が十分に低濃度の水を得ることができる。

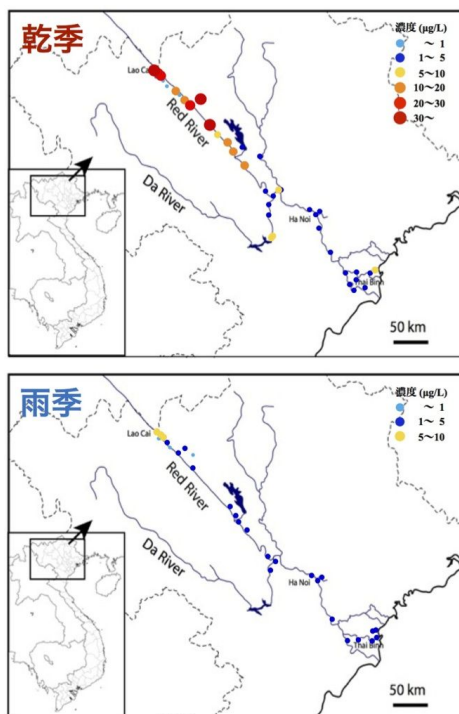


図3 試料採取地点と溶存ヒ素濃度。

本研究の主な成果は、以上の3つの通りである。今後はハノイでの地形や地質データの追加、ラオカイでの継続したモニタリング、紅河における碎屑性粒子の運搬ルート（中国雲南省）の解明のさらなる統合をおこない、人間活動を含めた社会構造が水・地形環境に与える影響を考察し、流域都市における自然と社会の調和のとれた都市の在り方を考える必要がある。

<引用資料>

春山成子、古今書院、ベトナム北部の自然と農業、2004、131。

野々垣 進、升本眞二、塩野清治、3次Bスプラインを用いた地層境界面の推定、情報地質、19巻、2008、61-77。

櫻井健一、サラウット ニンサワット、塩野清治、升本眞二、ホーリングデータを用いた岩相対比支援システム-Web-GISによる3次元地質モデル構築に向けて、情報地質、19巻、2008、82-83。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計15件)

Tran T. A., Raghavan V., Masumoto S., Yonezawa G., Nonogaki S. and Nemoto T., Using FOSS4G to Study Flood Inundation around Danang City,

Vietnam. Proc. FOSS4G-India 2015, 査読有, 2015, 1-6.

Nemoto T., Masumoto S., Nonogaki S., Raghavan V., and Yonezawa G., Development of a Distributed Database System for Borehole Data Using Free and Open Source Software. International Journal of Geoinformatics, 査読有, 11巻, 2015, 37-43.

Yamaguchi Y., Remote Sensing for Scientific and Practical Applications. Proceedings of the Conference on Science and Technology, 査読有, 1巻, 2014, 128-136.

Tran T. A., Raghavan V., Masumoto S., Vinayaraj P. and Yonezawa G., A Geomorphology based Approach for Digital Elevation Model Fusion -Case study in Danang City, Vietnam. Earth Surface Dynamics, 査読有, 2巻, 2014, 403-417.

Masuda H., Inoue R., Do T. H., Luan T. X., Yonezawa G., Shintani T., Hidaka S. and Chikaoka F., Arsenic and Lead Transportation Process in The Red River of Vietnam. Proceedings of GIS-IDEAS 2014, 査読有, 2014, 437-442.

Luan T. X., Do T. H., Kono Y., Raghavan V. and Shibayama M., Assessment of Morphological Changes of River Bank Using Remote Sensing and Geological Information Systems, A Case Study Red River in Hanoi Area. Proceedings of GIS-IDEAS 2014, 査読有, 2014, 118-124.

Tran T. A., Raghavan V., Masumoto S., Yonezawa G. and Nonogaki S., Characterizing Topographic Features and Flood Inundation Mapping in Alluvial Lowland Area. Proceedings of GIS-IDEAS 2014, 査読有, 2014, 91-96.

Yonezawa G., Sakurai K., Nonogaki S., Masumoto S., Mitamura M., Luan T. X., Raghavan V., Nemoto T. and Yoshida D., Development of 3D Geological Modeling System for Hanoi City Using Borehole Data. Proceedings of GIS-IDEAS 2014, 査読有, 2014, 176-181.

米澤 剛、トラン ティ アン、櫻井健一、三田村宗樹、升本眞二、根本達也、野々

垣 進、ベンカテッシュ ラガワン、ベトナム・ハノイにおける地下情報の活用、情報地質、査読無、24 巻、2013、54-55.

Tran T. A., Raghavan, V., Yonezawa G., Nonogaki S., and Masumoto S., Enhancing Quality Of Global Dem For Geomorphological Analysis - Case Study In Danang City, Vietnam. Proc. ACRS2013, 査読無, 2013, 42-49.

根本達也、升本眞二、塩野清治、野々垣進、地質構造の論理モデルを用いた三次元地質モデリング:データ処理と可視化、地質学雑誌、査読有、119 巻、2013、527-536.

Masumoto S., Nonogaki S., Nemoto T., Sakurai K., Ninsawat S., Iwamura S., Shoga H., Raghavan V. and Shiono K., Development of a Prototype System of Three Dimensional Geologic Modeling for Providing Geologic Information using Web-GIS. International Journal of Geoinformatics, 査読有, 2012, 8, 53-60.

桜井由躬雄、ハノイ・ホアンキエム地区の道路軸、中国-社会と文化、査読有、27 巻、2012、46-69.

米澤 剛、櫻井健一、船引彩子、升本眞二、野々垣 進、ベンカテッシュ ラガワン、柴山 守、ベトナム・ハノイの3次元都市モデル構築に向けて、情報地質、査読無、23 巻、2012、118-119.

Yonezawa G., Sakurai K., Funabiki A., Masumoto S., Nonogaki S., Raghavan V., Shibayama M. and Luan T. X., Construction of Urban 3-D Model of Hanoi, Vietnam. Proceedings of GIS-IDEAS 2012, 査読有, 2012, 255-260.

[学会発表](計 14 件)

Funabiki A., Spatial distribution of water hydrogen/oxygen isotopes and mineral composition of suspended material in the Song Hong and its tributaries. XIX INQUA Congress Quaternary Perspectives on Climate Change, Natural Hazards and Civilization, 2015 年 7 月 26 日~8 月 2 日, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市).

井上 凌、ベトナム北部を流れる紅河河川水の主成分及び微量元素の季節変化、日本地球惑星科学連合大会 2015 年、

2015 年 5 月 24 日~5 月 28 日、幕張メッセ(千葉県千葉市).

米澤 剛、ベトナムのボーリングデータにもとづく 3 次元地質モデリング、第 26 回日本情報地質学会総会・講演会、2015 年 6 月 18 日~6 月 19 日、小樽経済センター(北海道小樽市).

Masumoto S., Three Dimensional Geologic Modeling System based on FOSS4G products. FOSS4G2014-ASIA, 2014 年 12 月 2 日~12 月 5 日, バンコク(タイ).

Yonezawa G., 3D Geological Modeling for Hanoi City Using Borehole Data. FOSS4G2014-ASIA, 2014 年 12 月 2 日~12 月 5 日, バンコク(タイ).

Masuda H., Arsenic and Lead Transportation Process in The Red River of Vietnam. GIS-IDEAS 2014, 2014 年 12 月 6 日~12 月 9 日, ダナン市(ベトナム).

Luan T. X., Assessment of Morphological Changes of River Bank Using Remote Sensing and Geological Information Systems, A Case Study Red River in Hanoi Area. GIS-IDEAS 2014, 2014 年 12 月 6 日~12 月 9 日, ダナン市(ベトナム).

Yonezawa G., Development of 3D Geological Modeling System for Hanoi City Using Borehole Data. GIS-IDEAS 2014, 2014 年 12 月 6 日~12 月 9 日, ダナン市(ベトナム).

Yonezawa G., Construction of Urban 3-D Model of Hanoi, Vietnam Using FOSS Tools. American Geophysical Union, FALL Meeting 2013, 2013 年 12 月 9 日~12 月 13 日, サンフランシスコ(アメリカ合衆国).

米澤 剛、オープンソースを用いたベトナム・ハノイの時空間都市変容と持続可能性、平成 25 年度大阪市立大学国際学術シンポジウム「都市の再創造-20 年後の大阪-」招待講演、2013 年 9 月 17 日~9 月 19 日、大阪市立大学(大阪府大阪市).

米澤 剛、ベトナム・ハノイにおける地下情報の活用、第 24 回日本情報地質学会総会・講演会、2013 年 6 月 20 日~6 月 21 日、産業技術総合研究所(茨城県つくば市).

Mitamura M., Land Subsidence and Urban Geology Studies in Osaka and Proposal for Hanoi, International Workshop “ Sustainable Management of Red River Basin ”, 2013年3月1日, ハノイ市(ベトナム).

米澤 剛、ベトナム・ハノイの3次元都市モデル構築に向けて、第23回日本情報地質学会総会・講演会、2012年6月21日、高知大学(高知県高知市)。

Yonezawa G., Construction of Urban 3-D Model of Hanoi, Vietnam. GIS-IDEAS 2012, 2012年10月19日, ホーチミン市(ベトナム)。

〔図書〕(計4件)

米澤 剛 他、朝倉書店、地球環境学マニユアル2-はかる・みせる・読みとく-、GISによる地下構造の可視化、2014、132。

米澤 剛 他、朝倉書店、地球環境学マニユアル2-はかる・みせる・読みとく-、空間統合ツール-GISの利用方法-、2014、132。

米澤 剛 他、昭和堂、SEEDer 地域環境情報から考える地球の未来、FOSS4Gを用いた衛星データの利用について、2013、99。

柴山 守 他、勉誠出版、地域情報マッピングからよむ東南アジア、2012、317。

〔その他〕

水環境モニタリングからみる紅河流域都市の変容と持続可能性-ハノイを中心として-Webサイト
<http://gisws.media.osaka-cu.ac.jp/redriver/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

米澤 剛 (YONEZAWA, Go)
大阪市立大学・大学院創造都市研究科・准教授
研究者番号：90402825

(2)研究分担者

ベンカテッシュ ラガワン
(RAGHAVAN, Venkatesh)
大阪市立大学・大学院創造都市研究科・教授
研究者番号：30291602

三田村 宗樹 (MITAMURA, Muneki)
大阪市立大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：00183632

中屋 晴恵 (益田 晴恵) (NAKAYA (MASUDA), Harue)
大阪市立大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：70183944

升本 眞二 (MASUMOTO, Shinji)
大阪市立大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：40173760

根本 達也 (NEMOTO, Tatsuya)
大阪市立大学・大学院理学研究科・講師
研究者番号：10572555

野々垣 進 (NONOGAKI, Susumu)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究員
研究者番号：30568613

吉田 大介 (YOSHIDA, Daisuke)
大阪市立大学・大学院創造都市研究科・准教授
研究者番号：00555344

河野 泰之 (KONO, Yasuyuki)
京都大学・東南アジア研究所・教授
研究者番号：80183804

柴山 守 (SHIBAYAMA, Mamoru)
京都大学・国際交流推進機構・研究員
研究者番号：10162645

谷口 真人 (TANIGUCHI, Makoto)
総合地球環境学研究所・研究部・教授
研究者番号：80227222