

## 長瀬川流域における土砂動態の基礎的調査

佐々木寛太・田村裕亮・川越清樹（福島大学共生システム理工学類）

### 要 旨

衛星画像，数値気候モデルを利用して，長瀬川流域に対する将来気候に応じた土砂動態のシミュレーションの基礎データを整備するための「土地被覆」，「気象を含む水文量の主データになる気温」の調査分析を試みた．その結果，2050 年期中で 1.1℃から 3.2℃の範囲，2070 年期中で 1.2℃から 4.8℃の範囲で気温上昇する推計結果が得られた．また，土地被覆では，2050 年期中，2070 年期中の RCP2.6, 4.5, 6.5 シナリオで現在の平年値比約 20 日から 30 日の範囲で土地被覆の状態が早まる可能性が求められ，RCP8.5 では 2050 年期中に約 30 日から 50 日，2070 年期中に約 30 日から 70 日に早まる結果を得た．今後，地域スケールの評価も加え，更に情報を精緻化し，早期のシミュレーションを実施する意向である．

### I. はじめに

陸域に認められる水循環系は，単純な水の移動にとどまらず，水循環に接する物質の移動を助長させるエネルギーを担っている．水域に接する土砂は，この物質の中に含まれるものであり，地上の水循環系自体に大きなインパクトを与える．土砂の生産，輸送，堆積の運動状態にしたがって地表水の運動形態も大きく変化させる．地上，水中で形成される自然，および社会の環境は，地上活動の規則性，および安定化の中で維持される．これに対して，土砂関与して生ずる地表水の運動形態の変化は，環境維持バランスの崩壊を誘発させる要因となる．そのため，水域の土砂運動が自然，社会環境に与える影響は大きいと解釈できる．例えば「河道の土砂堆積が通水有効面積の減少を促し洪水，利水面に支障を与えるプロセス」は，自然，社会環境に大きな影響を与える運動の事例として挙げることができる．また，こうした影響は負の面に及ぶものではない．土砂運動に従って安定的に海域へ土砂供給された場合の海浜養生は，水の浄化，生態系維持，レジャー機能等への正の効果を生じさせている．こうした正負の影響をふまえると，自然，社会環境に対して寄与の大きな水域の土砂運動の時間スケール，異常現象に応じた動向を捉えることは，「持続的な環境を維持す

る」，もしくは「将来的な環境変化に適応，および発展できる計画，設計を進める」上で重点的課題といえる．この課題に対し，着実な現状の現象を捉えること，シミュレーションから将来像を推計することが必要である．ここにまとめられたものは，土砂運動の動向を見積もる上で必要になる「シミュレーションから将来像を推計」に含まれる．将来像を誘導するためのデータセットの整備を試みている．

シミュレーションを進める上で，水域の土砂動態で検討しなければならない運動は「生産」，「輸送(運搬)」，「堆積」である．各々で運動をモデル化し，水循環の中で系統づけし，統合的に土砂動態を見積もる必要がある．生産としては，アメリカ農務省で開発された Universal Soil Loss Equation (Wischmeier 1978)やマスマーブメント現象に対すれば斜面の極限平衡状態を捉えるフェレニウス法(Fillenius 1927)等を求める手法が多く用いられている．また，ある空間の土砂動態を求めるため，水量もパラメータに加えた経験的アルゴリズムにあわせて確率論で土砂生産を示すモデルも開発されている(Kawagoe et al 2010)．輸送としては，掃流砂として芦田・道上式(芦田他 1972)，浮遊砂として芦田・藤田式(芦田他 1986)等が開発され，粒径に応じた輸送基本理論式が構築されてい

る。また、こうした理論式や調査結果を用いながら土砂の巻き上げ、沈降、移流の核物理過程を再現した土砂輸送モデルも構築されている(富樫他 2004)。堆積としては、2次元定常、非圧縮性流体の運動方程式と連続の式を利用して求めること等で解析されている(坊野他 2000)。また、International River Interface Cooperativeなどの河床変動解析ソフトウェアも開発され実務面で堆積を見積もることに活用されている(iRIC Project 2010)。各々の運動を理解するために用いられているものが、地質、地形、土地被覆、気象を含む水文量の情報であり、循環で系統化する解析にも利用される。本書には、将来像を誘導するためのデータセットの整備として「土地被覆」「気象を含む水文量のうちの気温上昇」についての情報を示した。これらは、地質、地形と比較して短い間隔で変化する特徴を有する。気象を含む水文量の変化は、時々刻々と生じるものであり、平年値や統計解析より求められる極大量を用いて数値解析によるシミュレーションを行うことが多い。土地被覆は、人為的改変行為や、土地被覆に含まれる森林、植生帯関すれば日々の気象状況の積み重ねに従い変化する特徴をもつ。既に国土数値情報等で細やかな空間解像度のデータが作成されており、これらを数値解析に用いる例が多い。本書では、磐梯朝日遷移プロジェクトの「遷移途中にある自然環境を自然遺産として両行に保全するための研究モデルの策定」の主旨に合わせて、気候変動を踏まえた将来に対する「土地被覆」「気象を含む水文量」の主データになる気温についての希少な情報整備を試みている。

## II. 解析方法, およびデータセット

「土地被覆」「気温」については、プロジェクト対象領域である長瀬川流域に対する以下のデータを整備した。

① 2050年, 2070年時の平均気温, および気温上昇度

② 2050年, 2070年の土地被覆変化

上記に示す①, ②は連動で求められたデータとなる。数値気候モデルを基に長瀬川流域の2050年, 2070年時の平均気温データを利用して積算気温(1月1日からの積算値)を求め、現在の積算気温と土地被覆の関係から時代, 季節に応じた土地被覆状態を見積もっている。積算気温を目安に水稻, 森林の成長量を見積もる研究は、汎用的に衛星画像を利用できるようになった1990年から進んでおり, 季節変化に応じた強い関係が求められている(竹内他 2004)。土地被覆は、衛星画像データを利用し, 空間分布情報として求めている。このデータ整備において希少な点は, 将来予測に対する土地被覆を地域スケールで求めたことであり, 先駆的な研究事例として位置づけられる。以下に解析方法とデータセットについて説明する。

### 1. 衛星画像分析

衛星画像分析について利用したデータはLandsat5, 8より取得された空間解像度30m×30mの衛星画像である。Landsatはアメリカ航空宇宙局(NASA)の打ち上げた地球観測を目的にした人工衛星である。1972年7月23日以降現在まで, 計8回(8基)にわたり打ち上げし, 継続的に地球観測を実施している。複数の波長における光学観測を行っているが, Landsatは, 地上の物体に対しての太陽光の反射光を計測している。地球周期16日で1枚の衛星画像を取得する。空間解像度としては細やかであるが単純な太陽光の反射を撮影するため, 画像には雲も含まれることがある。そのため地上を明確かつ緻密に観測した画像は限られ, 特に日本のような温帯湿润気候に属する地域での画像は限定される。衛星画像として他研究機関にも簡易でデータ提供されるようになったLandsat4以降のデータを本研究では利用し, 最近の10年(2004年以降)における分析を進めた。最近10年で土地被覆分析可能な衛星画像は表1に

表 1 Landsat データセット一覧表

	date	積算日数	Landsat TYPE	積算気温 (average °C)
1	2004/2/13	44	Landsat5	-136.20
2	2004/4/1	92	Landsat5	-122.35
3	2004/6/4	156	Landsat5	603.85
4	2005/10/13	286	Landsat5	2901.25
5	2006/5/25	145	Landsat5	254.10
6	2006/10/16	289	Landsat5	2851.40
7	2007/2/21	52	Landsat5	-78.50
8	2007/6/13	164	Landsat5	703.55
9	2009/6/2	153	Landsat5	557.30
10	2010/7/23	204	Landsat5	1390.00
11	2010/8/24	236	Landsat5	2148.15
12	2011/4/5	95	Landsat5	-283.15
13	2014/5/31	133	Landsat8	11.75
14	2014/8/3	215	Landsat8	1515.60

示すとおりである。計 14 枚(14 時期)の衛星画像が取得された。

固定期間での取得は難しく、単純な同一時期の比較が困難である。そこで、各画像の取得に対する積算気温を取得して、気温として位置づけられた条件を明確にしている。なお、ここで利用した気温に利用したデータは AMeDAS の桧原、猪苗代の観測値である。本来であれば、長瀬川流域で空間平均気温を求めることが望ましい。ただし、面的に気温分布を時系列で取得することは現存のデータは困難である。そのため、本研究では上流側を AMeDAS 桧原、下流側を AMeDAs 猪苗代の代表地点と仮定し、これらの平均値を求めて空間代表値として設定した(表 1 中に積算日数、気温を記載)。

衛星画像より取得した情報は正規化植生指数(以下 NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)、正規化水指数(以下 NDWI : Normalized Difference Water Index)、正規化土壌指数(以下 NDWI : Normalized Difference Water Index)である。NDVI は、植物の葉が青と赤の波長を吸収し、近赤外線領域の波長を強く反射する特性を利用した指数である。その画素に対応する植物の葉が多い程 NDVI の値は高くなる。数学的に NDVI の

取りうる値の範囲は-1 から+1 で示されるが、実際の植生被覆実際の地表面は-0.1~+0.7 程度である。衛星画像で植生分布を見積もるためこの解析法が提案され(Rouse 1973)、活用例の多い指標である。NDWI は、対象物からの放射エネルギーを用いて、水域、および土壌水分量の推定をおこなう指標である。NDWI は水域に対して正の値を持ち、値が高いほど湿潤であると解釈される。開放水面を検出するために NDWI の解析法を提案している(McFeeters et al 1996)。NDVI と NDWI を用いて湿原を求める解析なども進められている。NDSI については、Rogers et al が沿岸域を対象とした研究において、各ピクセルで複数の様相が混じり合っているミックスピクセル (mixed pixel) 現象を考慮して土壌被覆している範囲を中間赤外線バンドと近赤外線バンドを利用した指標を提案している(Faraklioti et al 2001)。これらに示される植生、水、土壌を求めるための指標を利用して土地被覆状態を求めた。以下の(1)から(3)に各指標の式を示す。

・ NDVI (正規化植生指標)

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \text{-----}(1)$$

・ NDWI (正規化水指標)

$$NDWI = \frac{VIS - MIR}{VIS + MIR} \text{-----}(2)$$

・ NDSI (正規化土壌指標)

$$NDSI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR} \text{-----}(3)$$

ここで、NIR : 近赤外線データ、VIS : 可視光線データ、MIR : 中間赤外線データである。

以上、衛星画像分析として、NDVI,NDWI,NDSI のデータを取得し、積算気温(日数)毎にデータを整備した。

## 2. 数値気候モデル分析

国連気候変動に関する政府間パネル(IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change)は、人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に国連環境計画(UNEP)と世界気象機関(WMO)により設立された組織である。この組織では最先端、かつ将来の見積もりにおいて有効な情報である気候変動に関わる研究成果を集積し、報告書としてまとめている。報告書は、科学的な分析のほか、社会経済への影響、気候変動を抑える対策なども盛り込まれており、国際交渉に強い影響力をもつものとされている。この報告書に記載される成果は、将来の見積もりを行うためのベースとなる気候条件を踏まえることが多く、気候条件を踏まえるために用いるものが Global Climate Model(GCM と呼称され、もともとは General Circulation Model が由来)である。地上の大気水循環に基づき気候状況を解析した Global Climate Model のアウトプットを利用して将来の予測が行われている(以下、数値気候モデルとする)。気候条件を求めるために考慮されている大きな要因が温室効果ガス濃度であり、モデルでは、温室効果ガス濃度をふまえた放射強制力のシナリオを入力して計算が進められている。放射強制力(単位 :  $\text{KW}/\text{m}^2$ )とは、地球の気候を左右する気候因子のうち、地球の気候システムによるものを除いた太陽放射や温室効果などの外部因子をさしている。最新のモデル概念では、4つの放射強制力のシナリオが用意されている。このシナリオは、RCP(Representative Concentration Pathways)シナリオ(代表濃度シナリオ経路)と呼称されている。以下にシナリオを示す。

- ① 高位参照シナリオ  
→ RCP8.5(2100年時の二酸化炭素濃度 936ppm)
- ② 高位安定化シナリオ

- RCP6.0(2100年時の二酸化炭素濃度 670ppm)
- ③ 中位安定化シナリオ  
→ RCP4.5(2100年時の二酸化炭素濃度 538ppm)
- ④ 低位安定化シナリオ  
→ RCP2.6(2100年時の二酸化炭素濃度 421ppm)

世界各地の研究機関で数値気候モデルは開発されているが、本研究ではこれら4つのRCPシナリオをすべて含んだ数値気候モデルの気温データを利用して、将来の長瀬川流域の平均気温を推計する。推計に用いたデータは、以下に示すとおりである。

- ① CCSM4 →USA
- ② GISS-E2-R →USA
- ③ HadGEM2-E5 →UK
- ④ MIROC5 →JAPAN
- ⑤ MRI-GCM →JAPAN

これらの数値気候モデルは、約  $100\text{km} \times 100\text{km}$  の空間解像度で求められている。この空間解像度で気候条件を検討する場合、細やかな地域の情報は取得できなくなる。これに対し、Hijmans, R.J. は実際の観測値の傾向を基に標高、地形勾配に示される地形特性を利用して現在気候の気象状況をダウンスケーリングするアルゴリズムを開発した(Hijmans et al 2005)。また、このアルゴリズムを利用して数値気候モデルを簡易的にダウンスケーリングしている取り組みを進めている。本研究では空間解像度2.5度(約  $5\text{km} \times 5\text{km}$ )にダウンスケールした数値気候モデルアウトプットを利用して分析を試みている。また、このアウトプットデータは World climate data center より取得されたものである(World climate data center 2015)。本研究では、空間解像度2.5度の気温データを長瀬川流域平均値として抽出し、将来の見積もりを誘導するためのデータを整備した。なお、将来の期間としては、プロジェクトのキーワード

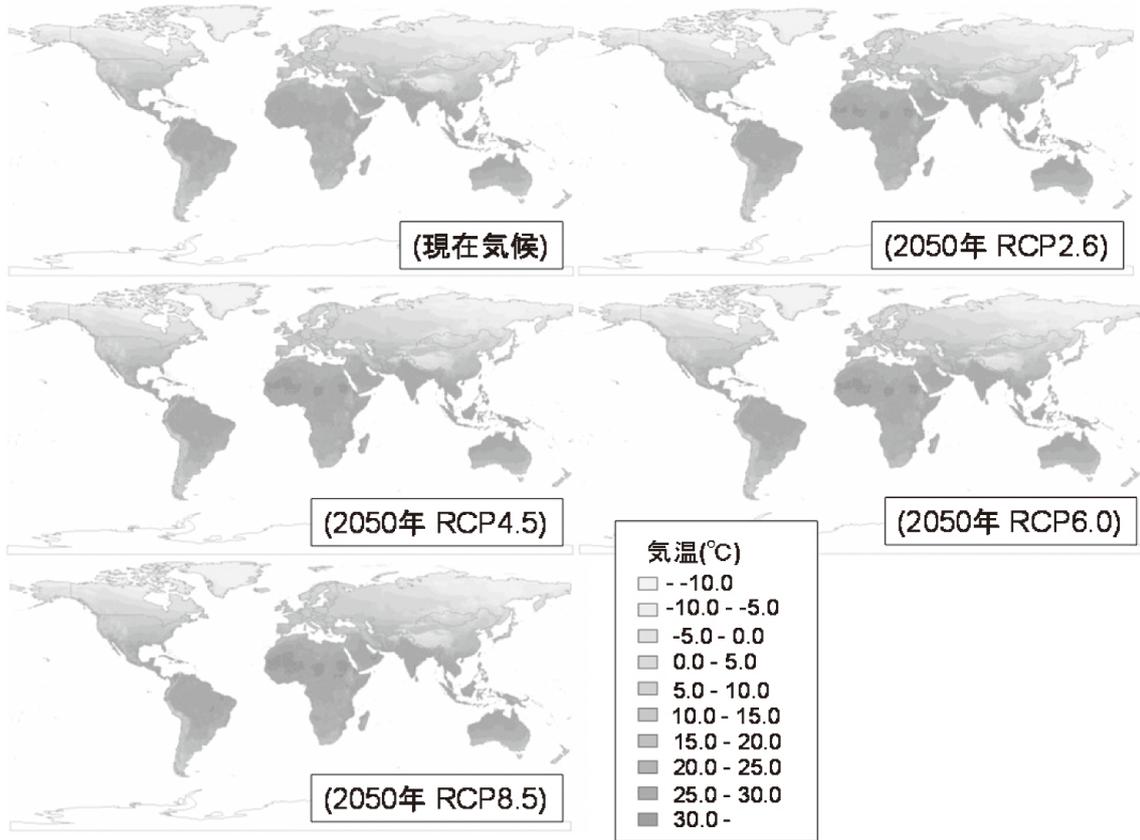


図1 現在気候, 2050 年 期 気 候 の 平 均 気 温 分 布 図 (全 球) モデル : MRI-GCM

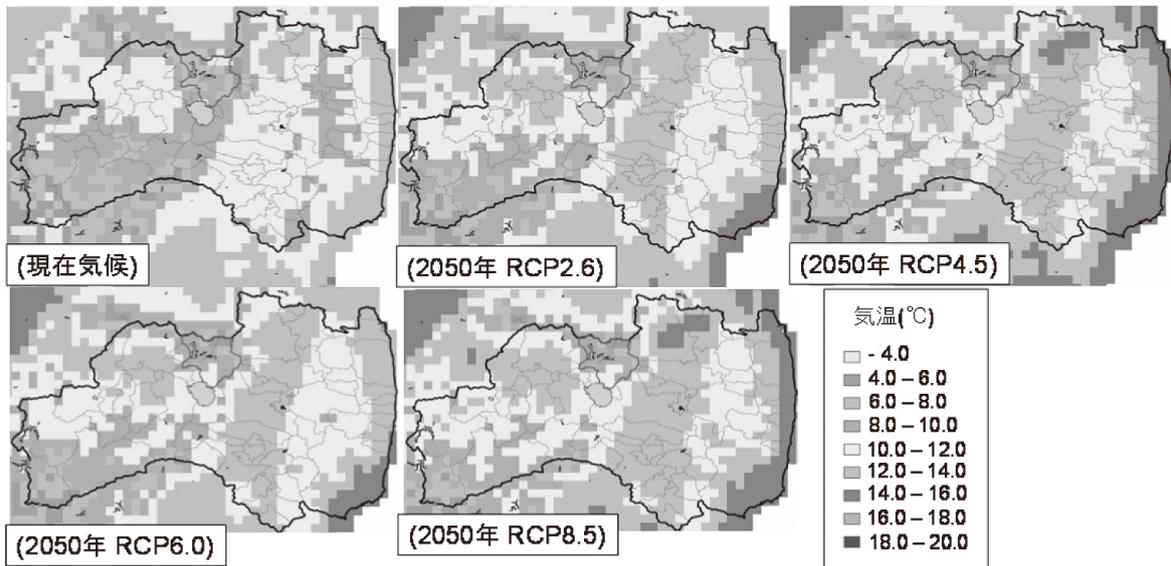


図2 現在気候, 2050 年 期 気 候 の 平 均 気 温 分 布 図 (福 島 県) モデル : MRI-GCM

に示した「磐梯朝日国立公園の100年計画の策定」にあわせて2050年(2031年から2050年の平年値), 2070年(2051-2070年の平年値)のデータを整備した。参考として、現在気候とMRI-GCMの2050年(2031年から2050年の平年値)に基づいた年平均気温を全球(図1参照),

福島県(図2参照)で示す。これら、長瀬川流域の空間に対する平均の各気候期の平均気温を求め、積算気温(日数)のデータを整備した。

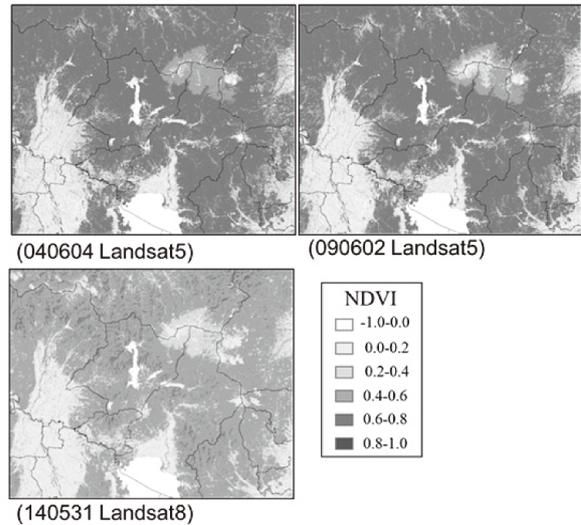
### 3. 土地被覆と積算気温の分析

衛星画像分析より得られる結果は「衛星画像より取得された土地被覆状態、および土地被覆状態にあわせた現在気候の積算気温」である。また、数値気候モデルより得られる結果は「2050年期、および2070年期の積算気温」である。これらの関係を内挿することで2050年と2070年の土地被覆を見積もる。ただし、この結果は平年のなものに対する評価であるため、突発的な異常気象を含まないことに留意しなければならない。突発的に生ずる異常気象だけにとどまらず、火山等の地球活動に起因した環境変化が生じた場合には、見積もりも変化するため、多少の不確実性を含む。気候のトレンドとして捉える必要がある。

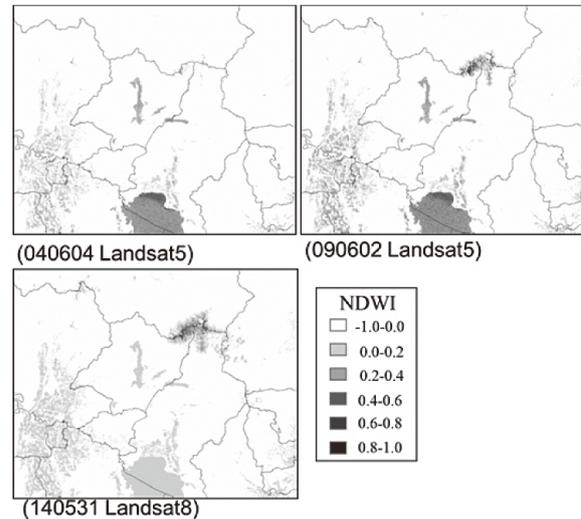
### III. 衛星画像分析結果

II章に記載した14つの衛星画像を用いて分析を進めたが、ほぼ同時期である2004年6月4日、2009年6月2日、2014年5月31日の空間マップを例に説明する。図3に

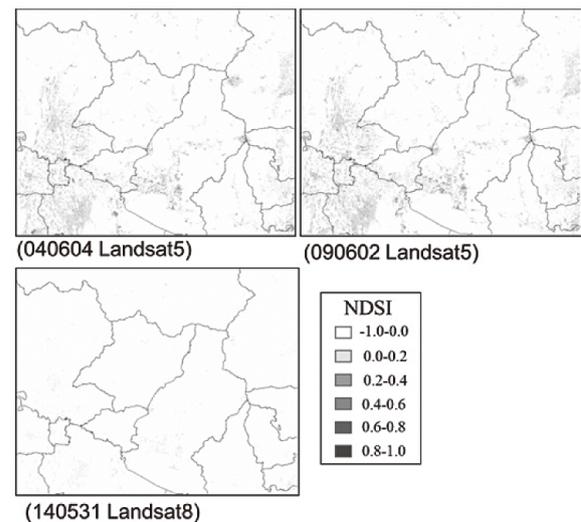
NDVI,NDWI,NDSIの分析結果を示す。植生被覆に関しては、NDVIの色調より植生活性の高まりが2004年、2009年、2014年の序列で示されることが見てとれる。また、水域分布に関しては、会津盆地側の水域におおよそ同じ面積で示されていることがみてとれる。これらの水域は水田への引水を示している。ただし、特徴的な傾向は、同じ水田でも色調がことなることであり、2014年はNDW値が小さく示される。これは、水の濁りを示唆するものであり、雪解け間もない引水は表流水の影響をうけて濁質成分を含むことを示唆する。また、雪を示唆する分布が西吾妻山に示されており、面積規模から2014年、2009年、2004年の序列で雪面積の減少する状態がみてとれる。土壌被覆については、2014年は不明瞭、2004年、2009年は明瞭である。これは水田近辺の土壌水分が影響しているものと推測される。農用地の引き水により地表面上の



土地被覆(1) NDVI 植生



土地被覆(2) NDWI 水域



土地被覆(3) NDSI 土壌

図3 土地被覆分析結果  
(5月下旬から6月上旬)

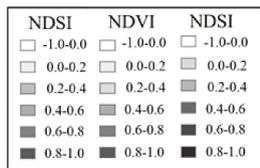
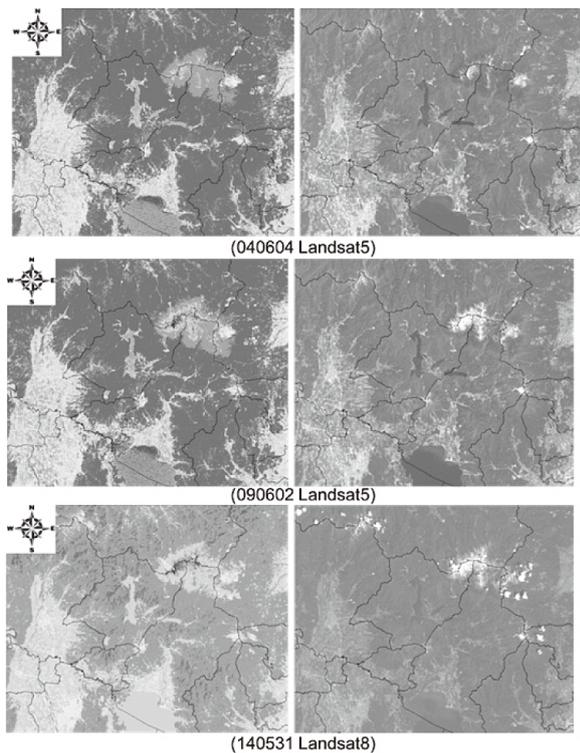
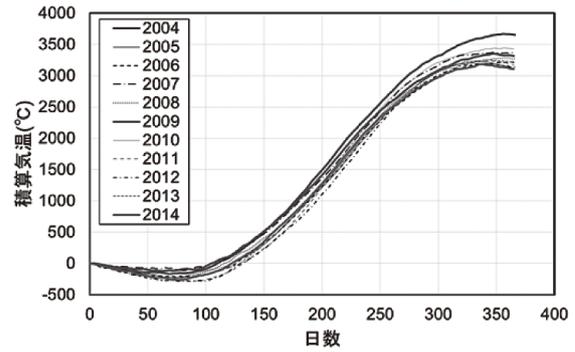
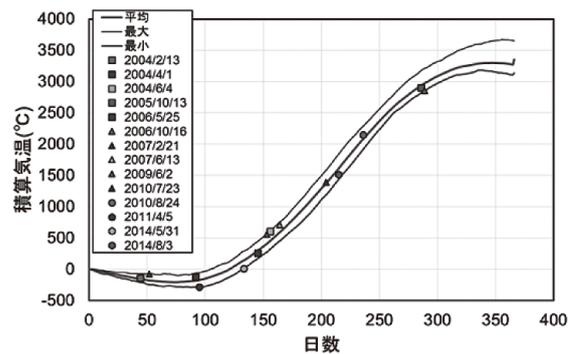


図4 衛星画像による土地被覆状況

水分吸収が活発で土壤被覆範囲が判別しにくかった可能性がある。図4はこれらの衛星画像より取得された指数情報を統合したものである。右図に衛星画像を示すが、西吾妻山の山頂に分布する雪氷域に関しては直感的に面積の規模が理解できる。ほぼ同時期の状況でも土地被覆は、各年で異なる状態となることを把握できる。こうした土地被覆の状況と気象の関係を理解するため、各年の長瀬川流域における積算気温の比較を図5に示す。図5の積算気温(1)各年の積算気温より、2004年は、ほぼ最大値に位置すること、2009年も積算気温の大きい部類に属することが理解できる。また、2014年は最小値に近似することが見てとれる。図5の積算気温(2)は積算気温(1)を簡素化したもので最大値、平



積算気温(1) 各年の積算気温



積算気温(2) 衛星画像取得日と積算気温の関係

図5 2004年～2014年の積算気温

表2 長瀬川流域の積算気温の傾向

日数	平均値	積算気温誤差		月日 備考欄
		最大値	最小値	
50	-170.33	-75.55	-240.40	2/19
100	-149.40	-30.80	-275.90	4/10
150	363.97	516.95	237.20	5/30
200	1289.78	1494.40	1111.95	7/19
250	2367.77	2558.80	2233.20	9/7
300	3086.76	3320.35	2972.50	10/27
350	3296.93	3655.05	3151.35	12/16

均値、最小値と衛星画像取得日の積算気温の関係を示したものである。衛星画像の土地被覆状況の積算気温に対する位置付けを明確に理解できる。図5の積算気温(2)を定量化したものが表2である。表2より山岳の融雪も消雪しうる150日(通常年5月30日)で積算気温平均値と最大値、および最小値に約150°Cの差が生じている。つまり冬季における日平均約±1.0°Cの差異で最暖年、最寒年に分かれることを示唆している。また、広葉樹の落葉する季節と概ね一致する300日(通常年5

月30日)に着目すると、積算気温平均値と最大値、および最小値に約200℃の差を示す。冬季の概算値を考慮すれば、夏季に関しては日平均約±0.3℃の差異で最暖年、最寒年に分かれることを示唆している。このような現在までの実績上の結果から、冬季の気温差が最暖年、最寒年に与える影響の割合が大きいことを理解できる。落葉広葉樹において冬季雪解け、春先の気温上昇で萌芽するタイミングは大きく異なると推測される。したがって、将来像を見積もる上で特に冬季から春季の気温上昇は注視すべきといえる。なお、ここより最大値を示した年を最暖年ベース、最小値を示した最寒年ベースとする。表3は実績に基づき長瀬川の積算気温に対する平年、最暖年、最寒年の日数を示したものである。平年と比較して最暖年、最寒年は約10日の差が生じることが理解できる。

衛星画像と積算気温の関係をここまで示したが、将来の見積もりを行う上での基準となる土地被覆状態の推計を試みた。衛星画像分析された長瀬川流域の平均的な指数の関係は図6に示すとおりである。1月1日からの積算にあわせた指数の近似式が図中に示されている。土壌に関しては水分を含むケースもあるため強い相関が示されない。その一方で、植生被覆、水域分布は強い相関が示される。この近似式を利用して日数内挿による積算日数に応じた土地被覆状態を推計した。なお、この結果は異常値をフィルタリングしているため、あくまで平年的な土地被覆を再現しているものと捉えなければならない。図7に積算日数に応じた長瀬川流域の土地被覆状況を示す。図7より植生活性の高まる時期、および低くなる時期を空間情報として理解できる。また、水田の引水時期や乾燥する時期、雪氷の分布状況を時間軸に応じた系統的に解釈することも可能である。その一方で、指数値の意味する状況は不確実な部分が多い。今後植生の状況、水域の状態等も重ね合わせて、数値が示すプロセスを緻密な情報も踏まえ整理することが必要である。

表3 長瀬川の積算気温による日数

積算気温 (°C)	平年	最暖年	最寒年	平年近似年
0	120	105	132	2005
350	149	138	158	2010
500	158	148	167	2010
1000	186	177	195	2010
2000	232	221	239	2008
3000	291	273	303	2009

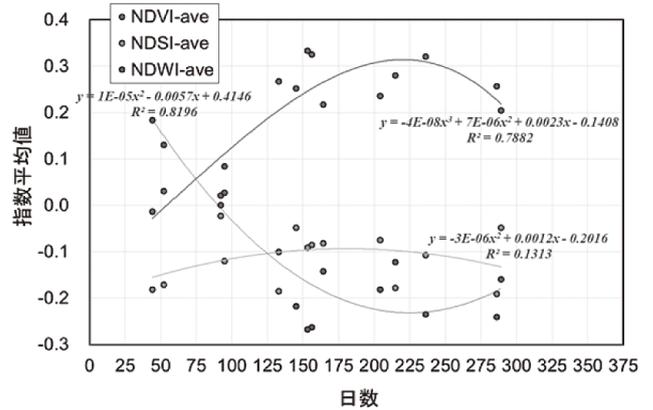


図6 長瀬川流域の指数平均値と積算日数の関係

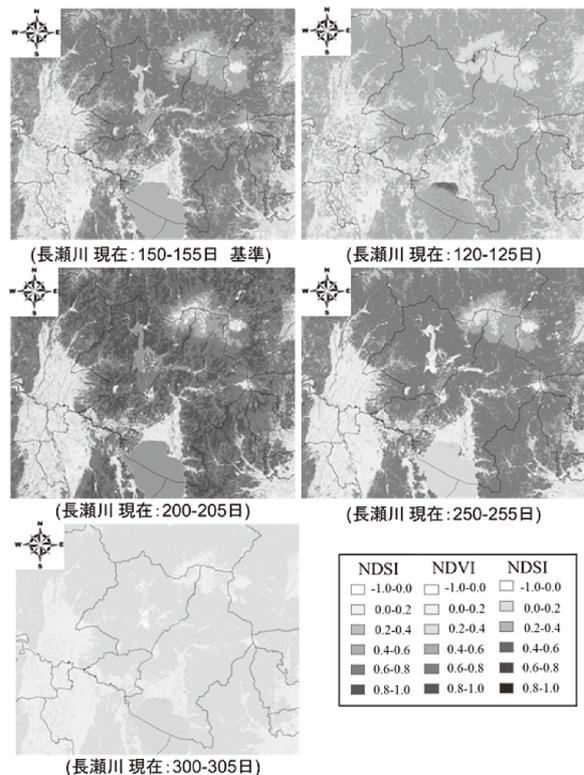


図7 長瀬川流域の平年の土地被覆

#### IV. 数値気候モデル分析結果

II章に記載した数値気候モデルを用いて長瀬川流域の空間に対する年平均気温による解析を進めた。表4は、現在気候と各数値気候モデル、RCPシナリオの長瀬川流域における年平均気温である。2050年期中で1.1℃から3.2℃の範囲、2070年期中で1.2℃から4.8℃の範囲の気温上昇する推計結果が得られている。モデルにより気温上昇の度合いがことなり、モデル依存性の高い結果が得られている。HadGEM2-E5は総じて高い気温上昇を示す。なお、RCPシナリオにすれば、RCP8.5以外は、概ね近似した値を示す結果を得た。この結果は、現在380から410ppmにある二酸化炭素濃度を、2100年時の二酸化炭素濃度421ppm(RCP2.6シナリオ)に安定化させたとしても気候システムの温暖化抑制に効果が得られていないこと、長瀬川流域でも温暖化が生じることを示唆している。また、RCP8.5シナリオの場合は極端な気温上昇が見込まれることを示唆する。

図8は数値気候モデルによる求められた平均気温情報を基に長瀬川流域の積算気温に換算した。気温の情報を理解しやすくするため、現在気候の平年値、最暖年、現在気候における日々の最高気温を積算した可能最大値(現在気候最高)による積算気温も示している。分析より、現在気候最高と現在気候最暖年の間に2050年期中、2070年期中の積算気温が分布する結果を得た。つまり、将来の平年の状態は、日々の最高気温更新の積算まで及ばないが、現在の最暖年を超過する暖かさを示す可能性を示唆している。そのため、全球モデルの循環を考慮すれば、現在よりも植生萌芽する時期、積雪量の減少の発生が示唆され、土砂を含む物質流出の過程も大きく変化する可能性が見込まれる。そのため、自然、および社会に関する環境は大きく遷移することが示唆される。

表4 将来の長瀬川の平均気温の推移

気候モデル		CC	GS	HA	MC	MG	AVE	
平均気温	現在	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	
	2050年	RCM2.6	9.6	9.7	10.6	10.5	9.3	9.9
		RCM4.5	9.9	10.1	10.8	10.6	9.9	10.3
		RCM6.0	9.8	10.1	10.5	10.0	9.5	10.0
		RCM8.5	10.6	10.4	11.4	11.0	10.0	10.7
	2070年	RCM2.6	9.5	9.4	10.6	10.5	9.4	9.9
		RCM4.5	10.2	10.5	11.3	11.0	10.0	10.6
		RCM6.0	10.4	10.7	11.5	10.9	10.1	10.7
		RCM8.5	11.3	11.5	13.0	12.1	11.3	11.8
	現在の気温差	2050年	RCM2.6	1.4	1.5	2.4	2.3	1.1
RCM4.5			1.7	1.9	2.6	2.4	1.7	2.1
RCM6.0			1.6	1.9	2.3	1.8	1.3	1.8
RCM8.5			2.4	2.2	3.2	2.8	1.8	2.5
2070年		RCM2.6	1.3	1.2	2.4	2.3	1.2	1.7
		RCM4.5	2.0	2.3	3.1	2.8	1.8	2.4
		RCM6.0	2.2	2.5	3.3	2.7	1.9	2.5
		RCM8.5	3.1	3.3	4.8	3.9	3.1	3.6

※ 参考

CC: CCSM4, GS: GISS-E2-R, HA: HadGEM2-E5, MC: MIROC5, MG: MRI-GCM, AVE: 平均

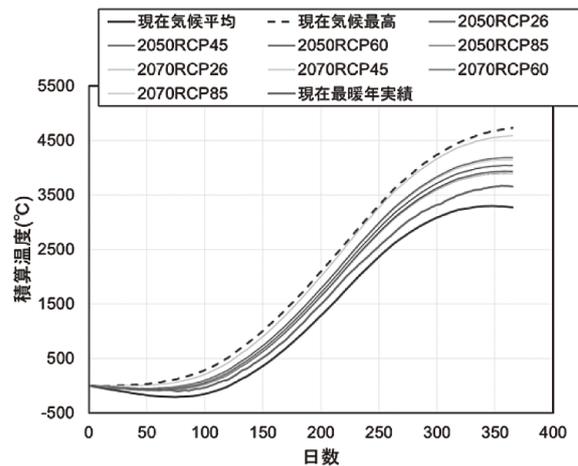


図8 将来気候の積算気温の推移

#### V. 土地被覆と積算気温の分析

現在気候より求められた土地被覆と現在、将来の積算気温より得られた結果を基に、2050年と2070年の土地被覆を見積もる。現在気候の土地被覆に費やす積算日数が、将来への位置づけを示すことで評価を行う。

積算気温を基にした積算日数の結果を表5に示す。結果として、2050年期中のRCP2.6, 4.5, 6.5シナリオは、現在の平年値に基づく積算日より約20日から30日の範囲で土地被覆の状態が早まる可能性が求められた。積算日からの直感では、「1

ヶ月程度のタイムラグ」であるため、現実的に想定できる暖年の範囲の中の範疇である。しかしながら、2050 年期の RCP8.5 シナリオは、約 30 日から 50 日の範囲で土地被覆が早まる結果を得た。特に注視すべき点は、現在の積算日数 120 日(通常年 4 月 30 日)に対する 2050 年期の 77 日(通常年 3 月 18 日)までの遡りであり、水源となる高地での植生、水資源に大きな影響を与える可能性が大きいと評価できる。2070 年期の積算日は、RCP2.6, 4.5, 6.5 シナリオで大きな差異を示さないが、RCP8.5 シナリオで約 30 日から 70 日の範囲で土地被覆が早まる結果を得ている。これらの結果から RCP8.5 シナリオの自然、社会環境に対するインパクトは非常に大きなものであり、二酸化炭素濃度をこのシナリオに準拠させていけないことが理解できる。

## VI. おわりに

長瀬川流域に対する将来気候に応じた土砂動態のシミュレーションの基礎データを整備するため、気候変動を踏まえた「土地被覆」、「気象を含む水文量の主データになる気温」に関して分析を進めた。その結果、2050 年期で 1.1°C から 3.2°C の範囲、2070 年期で 1.2°C から 4.8°C の範囲で気温上昇する推計結果が得られた。また、土地被覆では、2050 年期、2070 年期の RCP2.6, 4.5, 6.5 シナリオで現在の平年値比約 20 日から 30 日の範囲で土地被覆の状態が早まる可能性が求められ、RCP8.5 では 2050 年期に約 30 日から 50 日、2070 年期に約 30 日から 70 日に早まる結果を得た。なお、この結果は全球の大気、水循環に基づく地域スケールの評価であり、メソスケールの固有的な循環の寄与の少ないものである。別途、積雪調査、分析の評価ではメソスケールでの特徴も示されていることから、この調査結果も踏まえて予測情報を精緻化していくことが必要である。また、本分析と同様に降水に関する検討も加えて、将来に資することのできる土砂動態評価を進める意向

表 5 現在気候に対する将来の積算日数

【2050 年】				
現在気候	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
120	95	86	93	77
150	133	129	132	125
200	185	181	184	178
250	229	227	228	221
300	265	260	260	251
【2070 年】				
現在気候	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
120	95	80	77	37
150	133	126	125	116
200	185	179	178	169
250	229	222	221	212
300	261	252	251	239

である。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、藪崎志穂助教、流域環境システム研究室の教務補佐員今泉友香様、学生にデータ整備の協力を得た。この場を借りて深く感謝する。

## 引用文献

- Wischmeier, W. H., and Smith, D.D. (1978) Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 537.
- Fellenius, w. (1927) Erdstatische Berechnung, Berlin.
- S. Kawagoe, S. Kazama, and P. R. Sarukkalgige.(2010) Probabilistic modeling of rainfall induced landslide hazard assessment, Hydrology and Earth System Sciences, 14, 1047-1061.
- 芦田和男・道上正規(1972) 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 206, 59-69.
- 芦田和男・藤田正治(1986) 河床粒子の浮遊砂機構とそのモデル化, 土木学会論文集, 375, 79-88.
- 富樫 昇・真野 明(2004) 阿武隈川の洪水時の浮遊土砂輸送, 土木学会水工論文集, 48, 949-954.
- 坊野聡子・清水康行・黒木幹男・藤田睦博・吉田

- 義一(2000) ダムを含む河川の流砂と河床変動に関する研究, 土木学会論文集, 656, 61-72.
- iRIC Project (2010) International River Interface Cooperative Changing river science, <http://i-ric.org/ja/index.html>, Site viewed 09/02/2015.
- 竹内 渉・安岡善文 (2004) 衛星リモートセンシングデータを用いた正規化植生, 土壌, 水指数の開発, 写真とリモートセンシング, 43, 7-19.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering (1973) Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.
- MCFEETERS, S.K. (1996) The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17, 1425-1432.
- Faraklioti, M. and M. Petrou (2001) Illumination Invariant Unmixing of Sets of Mixed Pixels. IEEE Transactions 13 of Geoscience and Remote Sensing, 39, 2227-2234.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 25, 1965-1978.
- World Climate Global Climate Data (2015) <http://www.worldclim.org/>, Site viewed 09/02/2015.