

17. 気候変動が沖縄本島北部における土砂流出に及ぼす影響に関する研究

赤松 良久¹・古澤 広隆²・大澤 和敏³・神谷 大介²・宮本大輔²

¹山口大学大学院理工学研究科社会建設工学専攻 (〒755-0003 山口県宇部市常盤台2-16-1)

²琉球大学工学部環境建設工学科 (〒903-0213 沖縄県西原町千原1)

³宇都宮大学農学部農業環境工学科 (〒321-8505 栃木県宇都宮市峰町350)

* E-mail: yakamats@yamaguchi-u.ac.jp

気候変動によって流域における土砂動態が大きく変化することが危惧されており、その影響評価や対応策の検討が急がれている。本研究では土砂流出解析モデル (GeoWEPP) を用いて、気候変動が沖縄本島北部における土砂流出に及ぼす影響を検討するとともに、その抑制に向けた土地利用形態の適用シナリオについて検討した。その結果、気候変動によって生じる100年後の降雨の変化は年間総雨量で約8%増という結果に対し、土砂流出量は土地利用が現在のままと仮定すると10~20%程度増加することが明らかとなった。また、気候変動による土砂流出量の増大は土地利用形態の改善によって8~11%程度軽減可能であることがわかった。

Key Words : climate change, sediment yield, Okinawa Main Island, GeoWEPP

1. はじめに

地球温暖化による気候変動によって我が国における降雨特性も大きく変動すると予測されている¹⁾。降雨特性の変化は流域における河川氾濫の危険性の増大や水資源の枯渇等の問題を引き起こすとともに、流域における土砂動態を大きく変化させる可能性がある²⁾。このような気候変動に対する適応策の検討が早急に求められているものの、具体的な適応策に関する研究はほとんど行われていない。

沖縄県は赤土(国頭マージ)が広く分布する地域であり、降雨時には農地などからの赤土流出が顕著である。沖縄の河川は短く、河川に流入した赤土はすみやかに海域に到達するため、沿岸域の生態系に悪影響を及ぼしている。特に、サンゴ礁域では赤土が堆積しやすく、台風時には赤土が舞い上がり、再懸濁が起こり易い。その結果、サンゴの死滅や水産資源の減少などの重大な問題を引き起こしている。このような陸域から海域にわたる環境問題に対処するために、近年、流域一貫の土砂管理に関する研究がすすめられている³⁾。しかし、今日では地球温暖化

による気候変動への適応に向けた流域土砂管理法の開発も必要とされている。

本研究では沖縄本島北部の3流域を対象として土砂流出解析モデルを用いて、過去と現在の土地利用での土砂流出特性について検討を行う。また、気候変動によって変化する100年後の降雨量を用いて、将来の土砂流出量の増加を予測し、その抑制に向けた土地利用形態の適応シナリオについて検討する。

2. 土砂流出の現地観測

(1) 観測概要

国頭村に位置する奥川、名護市北東部に位置する源河川と名護市西部に位置する大浦川の3河川を対象に現地観測を行った。観測対象域を図-1に示す。対象とした3河川の河口域に濁度計を設置し、濁度および水位の連続モニタリング(計測時間間隔10分)を行った。

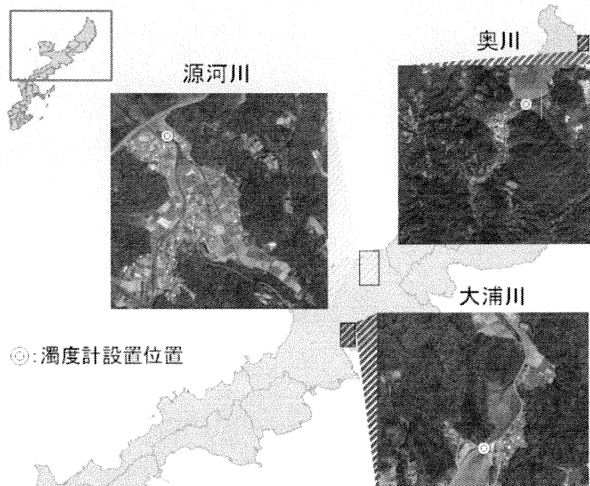


図-1 観測対象域および観測地点

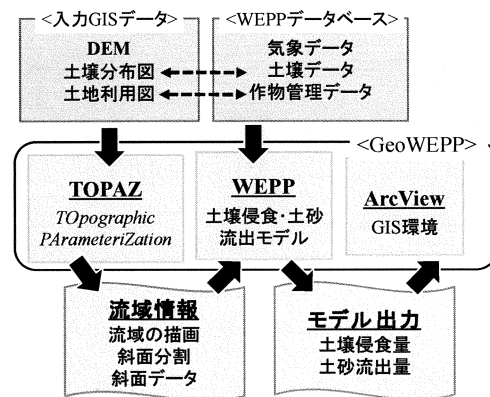


図-3 GeoWEPP の概念図

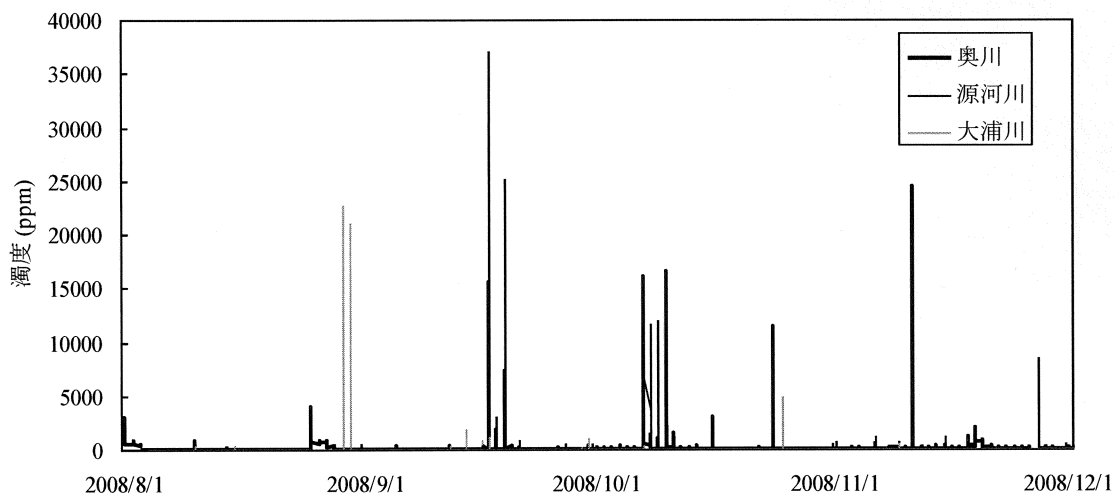


図-2 各流域における濁度の時系列変化

(2) 観測結果

図-2に観測から得られた2008年8月～12月にかけての濁度の時系列変化を示す。奥川と源河川において濁度の上昇が見られるが、大浦川では濁度の上昇がほとんど見られない。また、9月17日には沖縄本島に台風が最接近したため、源河川の濁度が大きく上昇している。このとき沿岸域において再懸濁が見られたことから、その影響が及んでいるものと考えられる。さらに、観測を行った3河川の中で、奥川が最も頻繁に土砂流出が起きていることが分かる。以上のように沖縄本島北部では近接する流域においても土砂流出特性が大きく異なることが明らかとなった。

3. 土砂流出解析

(1) GeoWEPPモデル

GeoWEPP は土壌侵食・土砂流出モデル WEPP (Water Erosion Prediction Project) と GIS (Geographic Information System: 地理情報システム) を組み合わせた土砂流出解析モデルである⁴⁾。WEPP は米国農務省を中心に開発が進められ、現在、ソフトウェア化され、無償で配布されている⁵⁾。WEPP は気候因子、降雨に対応した表面流、蒸発散や浸透の水収支、作物の成長、耕起作業などによる土壌の透水性、受食性の変化、圃場の管理作業が考慮された上で農地からの侵食量が算出され、さらに、流出した土砂の水路または河川における輸送や貯水池における沈降の再現計算を行うことができる。本モデルを GIS

表-1 各流域における土地利用割合

割合 (%)	奥川流域 963ha		源河川流域 1805ha		大浦川流域 865ha	
	1961年	2006年	1961年	2006年	1961年	2006年
耕作地	0.5	6	1.7	4.6	3.1	4.9
市街地	1.8	1.3	1.9	1.3	1.7	0.6
樹林地	97.6	89.6	96.3	91.4	95.1	92.6
その他	0.1	3.1	0.1	2.7	0.1	1.9

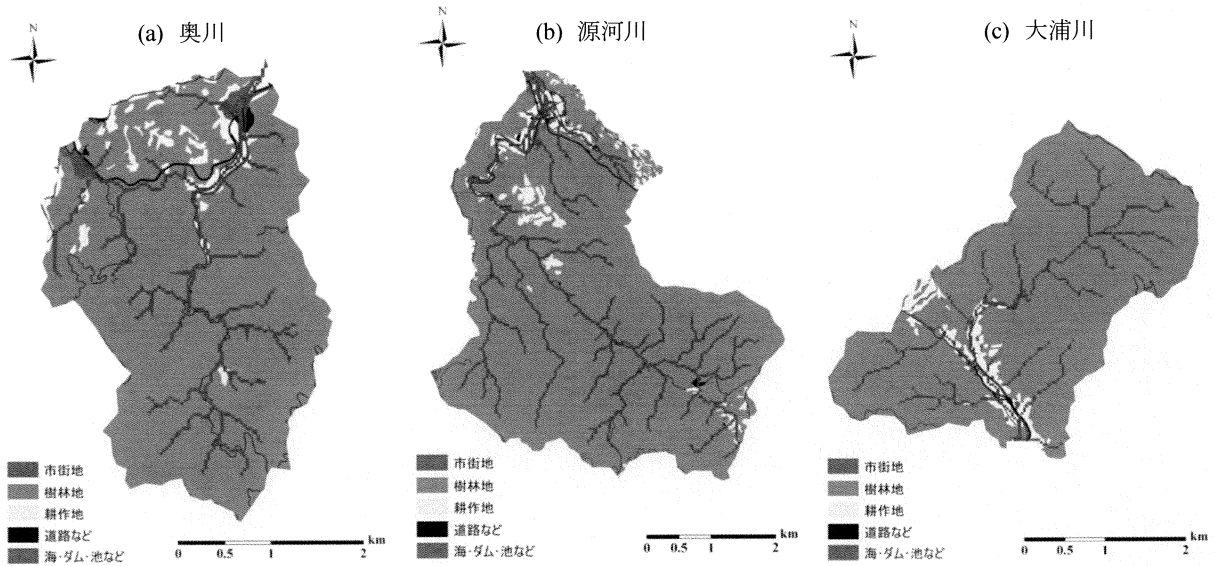


図-4 奥川、源河川、大浦川の土地利用分布

と組み合わせることにより、WEPP を流域スケールに適用する場合に必要な、流域分割、圃場における各種設定、水路における各種設定などが簡素化されることが GeoWEPP の利点である。GeoWEPP の土砂流出量算定には WEPP を適用する場合と同じく、①気象データ、②地形データ (DEM)、③土壌データ、④作物管理データである。図-3 に GeoWEPP による解析の概略図を示す。GIS データの管理や解析結果の可視化には ESRI 社の ArcGIS を用いている。

(2) 解析概要

表-1 に奥川、源河川、大浦川の流域面積および 1961、2006 年の土地利用割合 (樹林地、耕作地、市街地、その他) を示す。全流域において 1961 年から 2006 年にかけて市街地および樹林地の割合は減少しているのに対して、耕作地の割合は増加していることが分かる。また、沖縄本島北部における土地利用状況の大きな特徴として、近年、過疎化に伴う耕作放棄地の増加が問題となっている事が挙げられる。図-4 に解析対象とした奥川、源河川、大浦川の土地利用分布を示す (土地利用は 2006 年度にまとめられたデータである)。3 流域ともに河口付近に耕作地、市街地が集中しており、上流域はほぼ森林であることが分かる。

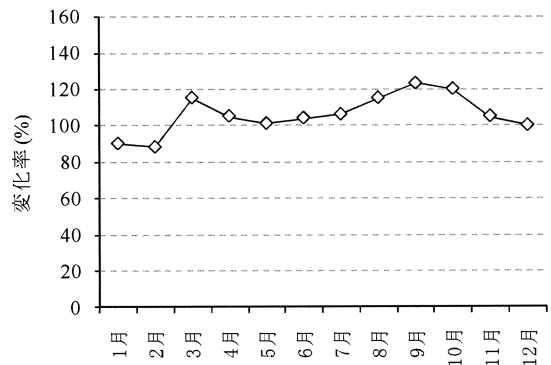


図-5 南西諸島地域の月間降水強度の変化 (1981~2000年平均値と2081~2100年平均値の変化率を示す)

また、地球気候モデル RCM20¹⁾によって地球温暖化シナリオ A2 に基づいて予測された南西諸島地域の月間降水強度の 2081 年から 2100 年平均値と 1981 年から 2000 年平均値との変化率を図-5 に示す。将来の降雨強度は、3月および7月から11月にかけて増加し、1月から2月にかけて減少すると予測されている。この変化率から 2008 年の年間の実績降雨量を用いて、将来の降雨量を算出し、WEPP を用いた解析を行った。ここで、奥川流域に関しては奥川上流の気象庁の観測雨量を用い、源河川、大浦側流域に関しては源河川上流の沖縄県北部土木

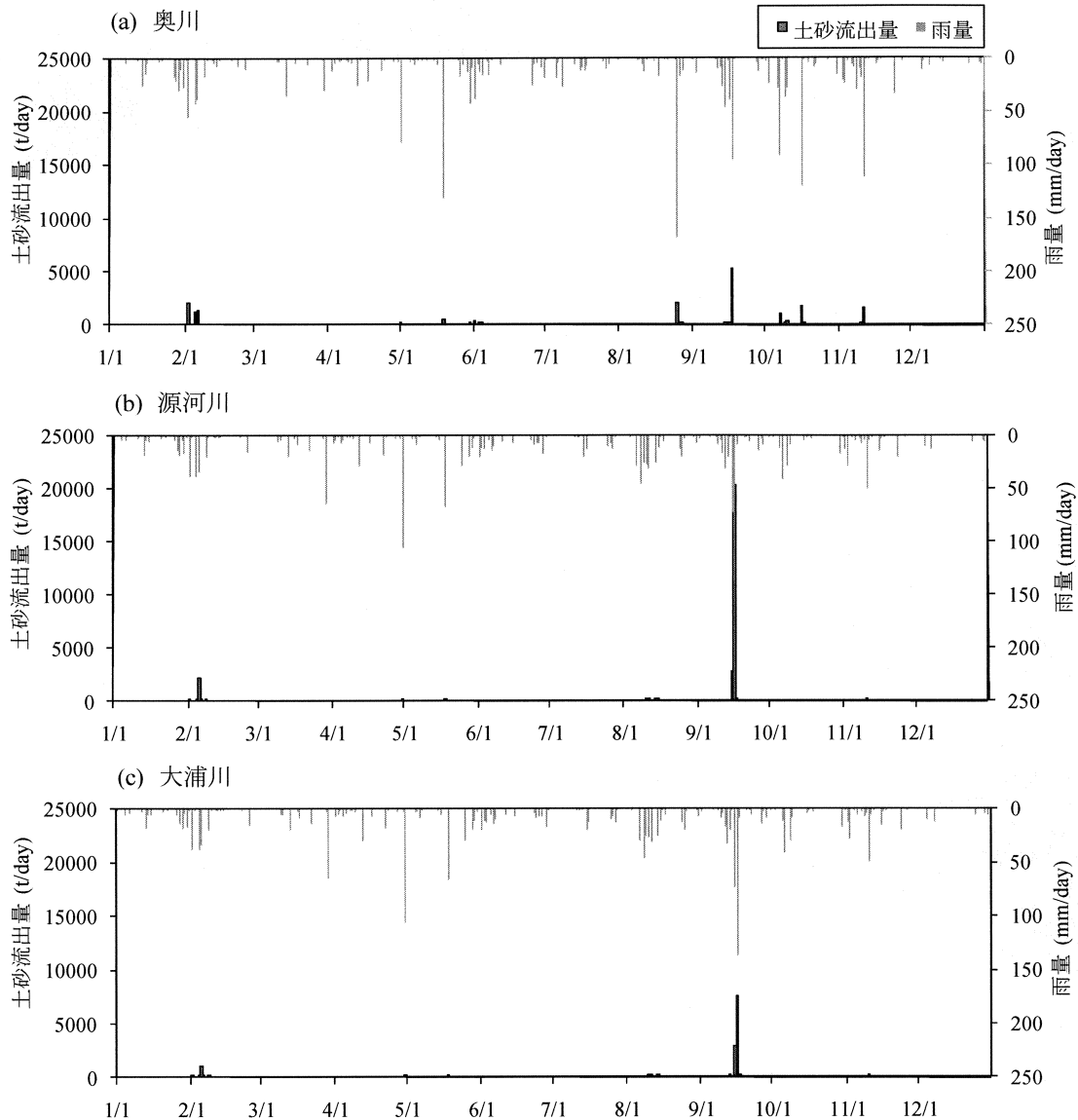


図-6 2008年の土砂流出量と雨量の時系列変化

事務所の観測雨量を用いた。ここで、本来は気温に関しても将来の予測データを用いるべきであるが、100年後の南西諸島地域の気温変化が土砂流出量の変化に及ぼす影響は非常に少ないことが WEPP を用いた解析によって確認されたため、割愛した。

4. 土砂流出解析結果および考察

(1) 各流域での現在の土砂流出特性

図-6に土砂流出解析から得られた各流域における2008年の土砂流出量および降雨量の時系列変化を示す。ここで、土地利用は2006年度にまとめられたデータを用いた。奥川流域では他の流域に比べて日降雨量が100mmを超えるまとまった降雨が多く、土壌の飽和度が常に高い状態にあり、土砂流出が頻繁に起こっていることが分かる。

これは現地観測で得られた奥川において8月~12月にかけて顕著な土砂流出が頻繁に見られる傾向と一致している(図-2)。一方、源河川、大浦川流域では日降雨量50~100mm程度では土砂流出が起こらず、8月中旬の200mmを超える降雨で、大規模な土砂流出が起こっている。このような流域による土砂流出特性の違いは、沖縄本島北部では降雨特性が大きく異なり、奥川流域では年平均2800mm程度であるのに対して、源河川、大浦川流域では2200mm程度であることの影響を強く受けられていると考えられる。また、全流域において3月~6月の降雨ではほとんど流出が見られないが、これは連続的な降雨が少なく、間欠的なものであったためであると考えられる。図-7に奥川、源河川、大浦川流域での一年間(2008年)の単位面積当たりの土砂流出量の空間分布を示す(ここでは、各グリッドでの流出量を示し、必ずしもすべての流出土砂が河口まで到達するものではない)。奥

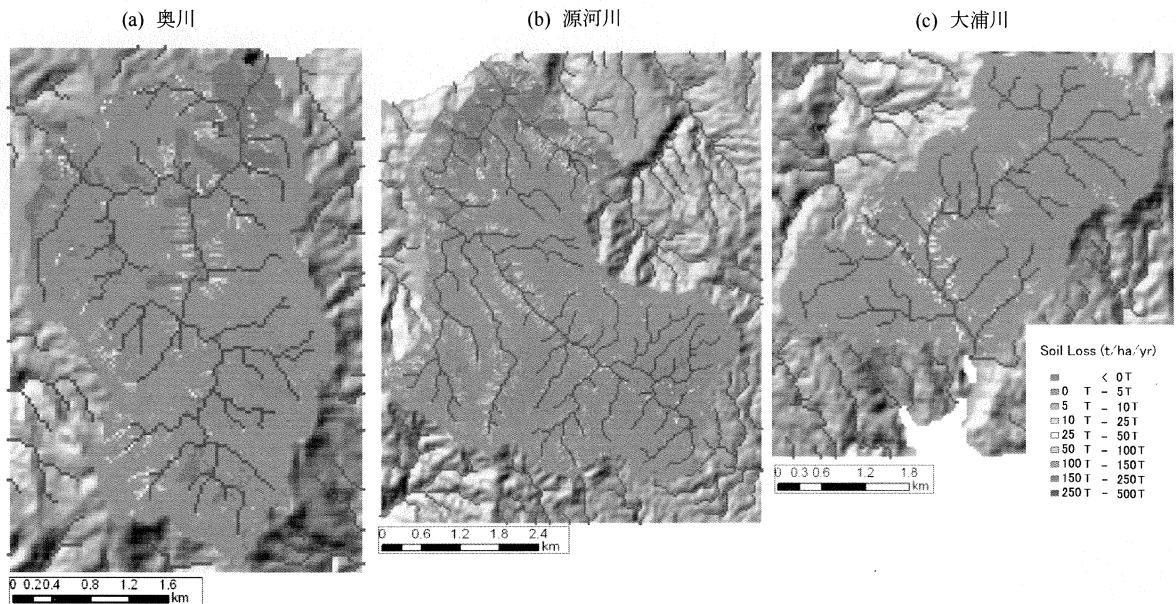


図-7 奥川、源河川、大浦川流域での一年間（2008年）の単位面積当たりの土砂流出量の空間分布

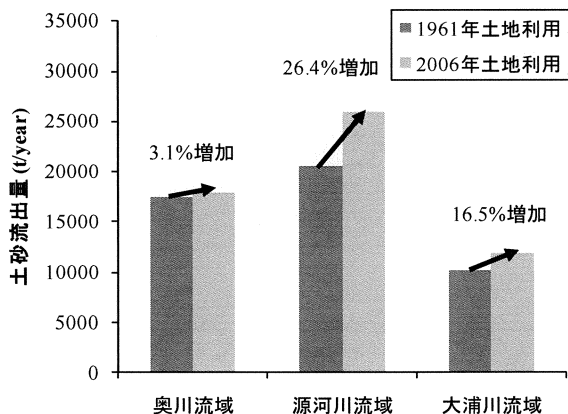


図-8 1961年および2006年の土地利用を用いたケースでの奥川、源河川、大浦川流域の河口における年間の総土砂流出量

川流域では年間の土砂流出量が250 (t/ha/year) を超える場所が見られるが、これは斜面上の果樹園に対応している。源河川流域では河口域に耕作地が広がっているものの、顕著な流出が見られていない。これは、源河川河口域は比較的平坦な形状であり、土砂流出が起こりにくかったためと考えられる。大浦川流域では河川沿いの畑地からの土砂流出が顕著であることが分かる。

(2) 土地利用の変化と土砂流出

図-8に1961年および2006年の土地利用を用いたケースでの奥川、源河川、大浦川流域の河口における年間の総土砂流出量を示す。年間降雨に関しては1961年および2006年の土地利用を用いた計算とともに2008年の実績降雨を用いた。1961年から2006年にかけて全流域で土砂流出量が増加していることが分かる。特に源河川流域では河

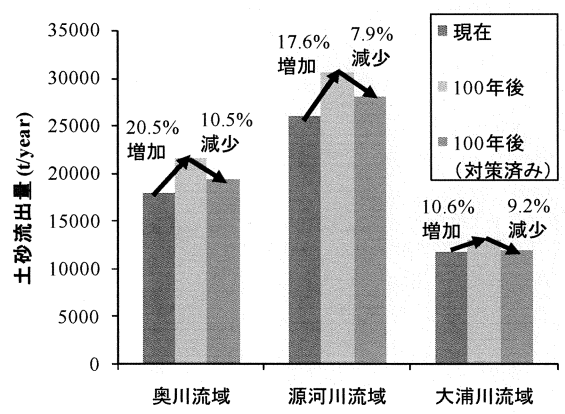


図-9 現在降雨(2008年の実績降雨)、100年後の予測降雨、100年後の予測降雨+土砂流出抑制対策の各ケースでの奥川、源河川、大浦川流域の河口における年間の総土砂流出量

川沿いの畑地が増加したことによって、土砂流出量が25%以上も増加している。奥川流域では樹林地が減り、耕作地が増加しているものの、土砂流出量は3.1%の微増に留まっている。これは1961年から2006年にかけて耕作地となった場所が河川から離れており、河口域での土砂流出に大きな影響を及ぼさなかったためであると考えられる。また、大浦川流域では土地利用の変化は3流域の中で一番小さかったものの、土砂流出量は16.5%の増加が見られた。

(3) 100年後の降雨特性変化と土砂流出

図-9に現在降雨(2008年の実績降雨)、100年後の予測降雨、100年後の予測降雨+土砂流出抑制対策のそれぞれのケースでの奥川、源河川、大浦川流域の河口にお

ける年間の総土砂流出量を示す。100年後の土地利用状況は不明のため、すべてのケースで2006年の土地利用を用いた。100年後の予測降雨では全流域において10～20%程度の土砂流出量の増加が見られる。本結果は、100年後の7～11月の降雨強度の増加によって、その期間の土砂流出が起る回数が増加したためである。また、100年後の年間降雨量が約8%増であったことと比較すると、土砂流出は気候変動による影響を強く受けることが分かる。

このような気候変動に伴う土砂流出増加による河川・沿岸域の環境悪化を防ぐための土砂流出削減シナリオについて検討した。ここでは、過疎化の進む沖縄本島北部地域において実現可能な案を選択した。具体的には、単位面積流出量の多い耕作放棄地に大豆か牧草(アルファアルファ)の栽培し、単位面積当たりの流出量は少ないが総面積の多い果樹園(特に奥川流域に多くみられる)には下草による被覆面積の増加を図ることとした。本モデルでは下層植生の存在によって、表層土壌の被覆度が80%になるため土砂流出量は大幅に減少する。100年後の予測降雨に対してこれらの対策を行った結果(図-9)、8～11%程度の土砂流出量の減少を見込めることが明らかとなった。しかし、このような対策をとっても、奥川、源河川流域では現在の流出量程度に抑えることはできおらず、サトウキビ畑から土砂流出の抑制対策等の更なる検討が必要である。

5. 結論

沖縄本島北部の流域では、地球温暖化に伴う気候変動による100年後の降雨の変化は年間総雨量で約8%増であ

るのに対して、土砂流出量は土地利用が現在のままとすると10～20%程度増加することが明らかとなった。また、気候変動による赤土流出量の増大は土地利用形態の改善によって8～11%程度軽減可能であることがわかった。

謝辞：本研究は国土交通省建設技術研究助成(研究代表者：赤松良久)および三井物産環境基金研究助成(研究代表者：赤松良久)の補助を受けている。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 気象庁：IPCCのSRES A2シナリオを用いた地域気候モデルおよび都市気候モデルによる気候予測，地球温暖化予測情報，第6巻，2005。
- 2) 川越清樹，風間聡，沢本正樹：将来気候モデルを用いた土砂崩壊リスク評価，地球環境研究論文集，Vol.16, pp.27-35, 2008。
- 3) Syunsuke Ikeda, Kazutoshi Osawa, Yoshihisa Akamatsu : Sediment and Nutrients Transport in Watershed and Their Impact on Coastal Environment, Proc. of the Japan Academy, Ser. B, Vol. 85, No.9, pp.374-390, 2009.
- 4) Renschler, C.S. 2003. Designing geo-spatial interfaces to scale process models: The GeoWEPP approach, *Hydrological Processes*, Vol. 17, p.1005-1017, 2003.
- 5) USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory: USDA Water Erosion Prediction Project; Hillslope profile and watershed model documentation, *NSERL Report No.10*, 1995.

(2010.3.26 受付)

(2010.6.9 受理)

Effects of Climate Change on Sediment Yield in in the Northern Part of Okinawa Main Island

Yoshihisa AKAMATSU¹, Hiroataka HURUSAWA², Kazutoshi OSAWA³ Daisuke KAMIYA² and Daisuke MIYAMOTO²

¹Div. of Civil and Environmental Engineering, Yamaguchi University

²Dept. of Civil Engineering and Architecture, University of the Ryukyus

³Dept. of Environmental Engineering, Utsunomiya University

Climate change is expected to have a great influence on the sediment yield in river basin. The effect and adaptation method are in need of consideration rather early. In this study, the effect of climate change on the sediment yield in three river basins of the northern part of Okinawa Main Island is estimated using sediment runoff analysis model (GeoWEPP). The restrictive measures of increase of sediment yield is considered using the model. The results indicate that the sediment yields per year in the three river basins after 100 years increase by 10-20%, while the increase of precipitation per year is about 8%. It is founded that the restrictive measures in dry field can decrease the increase of sediment yield after 100 years by 10-20%.