

GIS 利用による陸域影響に関する調査研究

渡辺 康志*

GIS Application of Land Use Impact

WATANABE Yasushi*

要 旨

サンゴ礁に多大な影響を与える陸域自然環境について GIS を使って研究した。調査範囲として沖縄島北部地域（比謝川・天願川以北）を選定し、自然環境データ（地形・地質・土壌）及び土地利用データを編集し、土砂流出量を USLE 式により算出し、赤土流出危険度を検討した。また、地形・地質・土壌条件から赤土流出危険度マップを作成した。

キーワード：GIS, 赤土流出, USLE, 沖縄島, 危険度マップ

ABSTRACT

A GIS was used to study the land environment that influences coral reefs in the north of Okinawa Island. Environmental and land-use data were collected using the GIS. Geomorphological, land classification, geological and soil and topographical maps were used. We calculated red soil runoff using USLE and constructed a risk-intensity map.

Keywords: GIS, red soil run-off, USLE, Okinawa Island risk-intensity map

はじめに

前年度、石川川流域を対象として、GIS による環境データ・土地利用データを取りまとめ、USLE 式から赤土流出量を算出し、土地利用による赤土流出の検討と USLE 式による赤土流出危険度マップの作成を行った。今回は、この手法を沖縄島北部に適用し、赤土流出の検討を行うとともに、これ以外の指標を使った赤土流出危険度マップの検討を行った。

1. GIS データ

GIS を使って自然環境データ（地形・地質・土壌）及び土地利用データをデジタル化し、USLE による予測計算の基礎資料とした。これらのデータはオーバーレイ機能により、データの位置関係を直感的に理解できる図を容易に作成することができる（図 1）。

*応用地理研究所 Institute for Applied Geograpy, Inc.

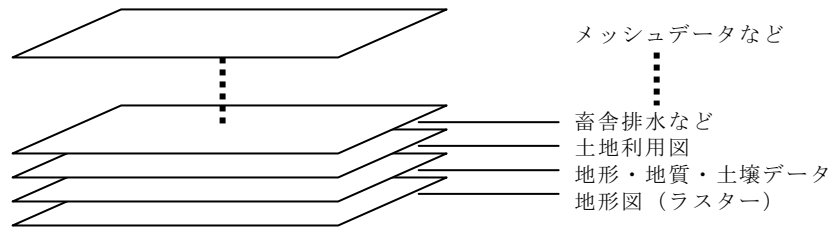


図1 レイヤー概念図
Fig.1 Layer structure on GIS

また、これらのデータは、メッシュデータとして再加工することが可能であり、作成したメッシュデータを使って数値計算を行うことや、計算結果を主題図として表示することが可能である（図2）。

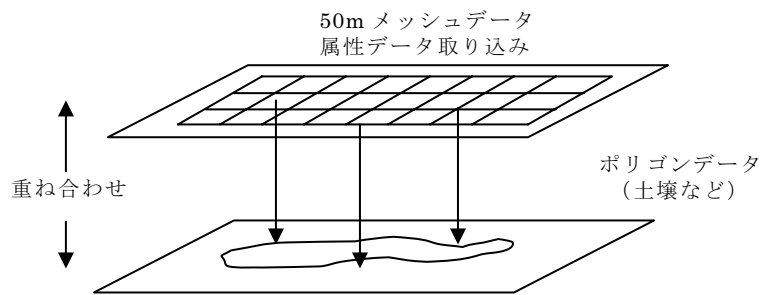


図2 メッシュデータ取り込み概念図
Fig.2 Calculation of mesh data from vector data by GIS

2. 自然環境データ

沖縄島は琉球列島中央部にあり、列島中最大の全長 100km の細長い島である。沖縄島の地形は、残波岬～石川間を境に北部と中南部で大きく異なる。北部は高島（高い山地を主体とした島）的であり、中南部は低島（低平な台地状の島）的である。

北部は、白亜系～古第三系の千枚岩・砂岩などを基盤とし、地形上からは山地・丘陵が卓越する。北端の辺戸岬から石川まで、脊梁山地として島の中央部を尾根が連なり、山頂部は南へ行くほど低くなる。さらに、これら山地の周囲を海成段丘起源と思われる丘陵が取り巻き、その縁辺部に砂礫層を持つ海成段丘が付着する。

一方、石川以南の沖縄島中南部の地形は、石灰岩台地と小起伏丘陵で代表される。最高位の地点でも 200m を越えない低平な地域である。この地域の丘陵は、基盤の島尻層群泥岩が露出し、侵食により形成された小起伏地形であり、台地より標高が低いのが大きな特徴となっている。

以下、地形分類、地質、土壌については、『土地保全図（沖縄県）』（1994）よりその概要をまとめた。

1) 地形

(1) 標高データ（図3, 4）

「国土地理院数値地図50mメッシュ（標高）」データより補完などの操作を行って50mメ

ッシュ標高データを作成した（GIS ソフトの機能）。メッシュは日本直角座標系第 XV 系を用いて 50m 間隔で作成した。さらに、メッシュ標高データより、斜面の傾斜及び傾斜方向を算出しメッシュの属性値として格納した（GIS ソフトの機能）。

（2）集水域・水系（図 5）

50m メッシュ標高データを利用し、シミュレーションによる流出解析（GIS ソフトの機能）を行い、流路（河川分布）及び集水範囲を作成し GIS データとしてデジタル化した。集水範囲は陸域影響が及ぶ海域を推定するために重要な情報である。

（3）地形分類（図 6）

沖縄島の山地は 500m 以下の標高で北東～南西方向にのび、西銘岳（420.1m）、与那覇岳（498.0m）、伊湯岳（446.2m）の標高 400m 以上の山岳がある。山地の斜面は、15～30°の傾斜をもつ斜面が大部分であり、明瞭な傾斜変換点をもって丘陵に移行する。谷壁沿いには 30°以上の急斜面、尾根沿いには 15°以下の緩斜面がみられる。山地斜面にはいくつかの小規模な表層崩壊がみられる。山地を開析して比地川、辺野喜川が西流し、新川、安波川が東流する。河川の流下方向は島軸に直交している。本部半島の山地は北部の乙羽岳（275.4m）南部の八重岳（453.3m）を中心とした山地である。尾根部に一部 15°以下の緩斜面がみられる。山地は小さな谷によって比較的密に開析されている。本部半島には古生代～中生代の石灰岩が比較的広く分布し、これらの地域では円錐カルストが発達する。本部半島北西部に発達する項高 210～240m、比高 30～50m の円錐丘がそれである。円錐丘の間には長径 100m 程の星形をした溶食凹地が発達している。北部の辺戸では、高さ 20～50m の垂直崖とその下部の崖錐斜面からなる標高 248.3m の石灰岩丘（辺戸岳）を形成している。垂直崖の背後には円錐カルストの間地が発達している。

北部地域の丘陵は、起伏量が 200m に達する大起伏丘陵であり、山地を取り囲むように発達する。丘頂高度はほぼ 150～200m とそろっており、丘陵を分断するように台地・段丘が発達する。東岸の急斜面は海食によってできたものであり、西岸の急斜面は断層によって形成されたものと考えられる。礫層からなる段丘が丘陵を分断するように発達すること、丘頂高度に定高性があること、山地とは明瞭な傾斜変換点をもって境されることから本地域の丘陵は海岸段丘が侵食され丘陵化してできたものと考えられている。丘陵は比地川、辺野喜川、新川、安波川などの大きな河川によって深く開析され、さらに浅く小さい谷によって密に開析されている。本部半島北部の丘陵は山地の北側に分布し、丘陵斜面 15～30°の一般斜面である。丘陵は大部分が古期の泥岩からなり、大井川などの大きな河川及び小さい谷によって密に開析されている。

沖縄島の段丘は、高位段丘、中位段丘上位面（中位段丘 I 面）、中位段丘下位面（中位段丘 II 面）、低位段丘の 4 段丘群に区分される。沖縄島北部地域には高位段丘群が発達するが、読谷山（201m）より南の地域には高位段丘は分布していない。沖縄島北部及び本部半島北部の高位段丘群は、数・分布面積ともに福地川上流部に最も卓越している。本部半島北部の高位段丘 I 面は旧汀線高度 200～110m、高位段丘 II 面は 150～80m を示す。

低地には谷底低地と海岸低地がある。辺土名付近に比較的規模の大きい海岸低地が、本部町備瀬原や今帰仁村運天には小規模な海岸低地が発達する。辺戸名の海岸低地は、赤丸岬と台地との間に発達するトンボロの主要な地形をなしている。その他、奥、安田、塩屋などに小規模な海岸低地が分布する。安田川と伊部川の河口付近には、小規模なマングロ

一ブ湿地が形成されている。谷底低地は辺土名付近及び本部半島北部の今帰仁村付近に比較的広く発達する。北部地域の海岸には、堤州と呼ばれる湾口をふさぐようにして延びた高まりが各河川の河口部に分布していることが多い。楚洲、安田、安波、辺土名、浜などにそれらの分布を見ることができる。

2) 地質 (図 7)

沖縄島北部の地質は、沖縄島北部山地及び本部半島を形成する先新第三系と貫入岩類、山地周辺海岸近くの台地・段丘などを形成する新第三紀～第四紀の琉球層群、そして平野・海岸などを形成する完新世の沖積層・海浜堆積物・現世サンゴ礁堆積物とに区分される。

先第三系基盤岩類は、北部山地・本部半島分布しており、中生代の本部層、今帰仁層、与那嶺層、湧川層及び中生代白亜紀～古第三紀の国頭層群に細分される。各地層間は断層で接していることが多い。一般に北東-南西の走向で、北西側に傾斜しており、琉球列島の配列や島の地形的な延びの方向と調和している。

琉球層群は基盤岩類を不整合に覆って分布する。最下部層は分布が狭く限られる砂～礫層であるが、その上位には石灰岩が多く分布している。最も新しい堆積物である沖積層や海浜堆積物、ビーチロック、現世サンゴ礁堆積物は平野を形成し、周辺の島々の周囲に分布している。

(1) 本部層：本部層は、本部半島、名護市部間・安和から幅 1～3km で北東方へのび、本部町伊豆味周辺に至る地域に分布する。岩質は石灰岩を主とし泥岩・チャート・礫岩を挟む。下部は石灰岩層に暗色泥岩と泥質礫岩が互層する。礫岩層は最大 70cm 前後の巨礫を含むこともあるが、多くは細礫からなる。上は塊状石灰岩からなり、チャートの団塊を含んでいる。

(2) 今帰仁層：今帰仁層は本部半島今帰仁城跡の東側を流下する繁間川沿いから本部町大堂・山里へ北東-南西方向に延びる衝上断層の西側一帯の山地を形成し、西端は本部町山川・石川一帯に達する。下部は主として石灰岩からなり、上部は層状石灰岩・塊状石灰岩・緑色岩類を主とし粘板岩などをはさんでいる。全層厚は 450～500m に達し、中～上部三畳紀の二枚貝・アンモナイトなどの化石を含む。この地層は、辺戸岬、瀬底島、伊平屋島、伊是名島、伊江島などにも分布している。

(3) 与那嶺層：今帰仁城跡近くを通る逆断層より東方一帯に広く分布し、その東端は運天港付近から屋我地島西方一帯及び本島北部周辺離島の伊平屋島、伊是名島、伊江島に分布する。この層は、ペルム紀の石灰岩・石灰岩礫岩・チャート・三畳系のチャート・緑色岩などを多く含み、これらの間を砂岩・粘板岩・凝灰岩・珪質岩が埋める複雑な地層である。

(4) 湧川層：今帰仁村湧川南部や名護市為又から今帰仁村呉我山に続く断層の東方に分布する砂岩・黒色千枚岩優勢の地層である。細～中粒の砂岩をはさみ、乱堆積構造がみられる。最下部では緑色岩、上部では中～粗粒砂岩が優勢となる。

(5) 名護層：名護層緑色岩類は、辺戸名北岸から名護付近まで西海岸沿いに幅 1～2km で分布する。その間、北西-南東方向の断層によって 1～4km ごとに切られてブロック化している。岩相は塊状、片状あるいは片理が発達しており、泥質千枚岩をはさんでいる。名護層は、粘板岩・千枚岩・泥質片岩からなり、国頭村中央部に南北に走る幅 2～3km の嘉陽層砂岩層をはさんで、その東西両側に黒色千枚岩を主とする名護層の泥質岩帯として分

布し、さらに恩納村安富祖付近までのびている。東側は沖縄島最北端の奥付近から南へ国頭村磯洲、伊部、安波一带に広く分布しており、北西－南東方向の断層によって切られている。東と西の名護層と中央部の嘉陽層との関係は整合である。名護層の堆積年代は、嘉陽層の下位に分布することから古第三紀から中生代後期と推定される。

(6) 嘉陽層：砂岩・砂岩泥岩互層は、国頭山地中央部に宜名真付近から南へ幅 2～3km で延び、南は恩納村・金武町付近まで分布している。岩相は砂岩を主体とし、砂岩泥岩互層、泥質千枚岩、砂岩泥岩薄互層、礫岩・砂岩などがはさまれる。砂岩層（粘板岩を含む）は、嘉陽層の上部で名護市天仁屋・久志・大浦湾北部に分布し、帯状構造を示す基盤岩類の中では最も外側を占める。この層は東村の有津、有銘、名護市天仁屋付近で始新世大型底生有孔虫が発見されているが、再堆積の可能性もあり、堆積年代は始新世かそれより新しいと推定されている。

(7) 琉球層群（更新世）：琉球層群は、基盤岩類を不整合に覆って分布するもので、さらに呉我礫層、知念砂岩層、琉球石灰岩、国頭礫層、段丘石灰岩に細分される。琉球石灰岩と国頭礫層は同時異相、段丘石灰岩は琉球石灰岩を不整合に覆って分布する。呉我礫層は羽地内海に面した丘陵地に分布する。呉我礫層の最下部付近に厚さ 2m の凝灰岩を伴う。上部は中～大礫の比較的固結度の低い砂礫層である。上位の仲尾次砂層によって整合におおわれる。層厚は約 70m である。仲尾次砂層は名護市羽地、今帰仁付運天港周辺に分布する。最下部は中～大礫混じりの細粒砂岩で厚さ 5～6m にわたって大型有孔虫の密集部があり、微化石も豊富に含んでいる。化石層の上部は、淘汰のよい青灰色の中粒砂または円摩された中礫層が重なる。

琉球石灰岩は、北部地域では、伊江島、屋我地島、古宇利島、瀬底島及び本部半島の今帰仁村運天付近に分布し、国頭村から名護市東南部にかけての地域には分布しない。本部半島の琉球石灰岩は、標高 10～50m の平坦面を形成して分布する。

国頭礫層は、琉球石灰岩と同時異相である非石灰質末固結堆積物のことをいう。国頭礫層は東海岸沿いで、北端の国頭村奥から石川市付近までの標高 50～150m の平坦面上に分布する。岩相は、中～小円礫をもつ砂礫層、黄褐色～褐色砂層、淡灰～赤褐色粘土・シルト層などからなり、砂礫の割合が多く、最上部の数 m は赤褐色粘土化が進んでいる。

段丘石灰岩層も琉球石灰岩層と同じく、周辺離島と本部半島北部及び最北端の辺戸岬に小規模に分布するのみである。岩相は非石灰質砂礫層及び礫質段丘石灰岩である。これらは層厚数 m 程度の薄層で固結度も弱く、琉球石灰岩を不整合におおっている。

(8) 完新世堆積物：本地域堆積物の主なものは、沖積層、海浜堆積物、現世サンゴ堆積物などである。北部地域においては、沖積層は海岸沿いの低地及び河川沿いの谷底平野を形成する地層で国頭郡内では集落の立地しているところが多い。岩相は、海岸付近ではサンゴ礫まじりの石灰質砂～砂礫、河川沿いの谷底平野では泥～砂を基質とした砂礫層からなっている。海浜堆積物はビーチロックや新期砂丘砂層などがある。ビーチロックは、本部半島や離島のものがほとんど石灰質であるのに対し、山地が海岸までせまっている北部海岸では、これら山地から供給された基盤岩類の砂・礫が多量に含まれていることが特徴である。

現世サンゴ礁堆積物は、現在の海岸線の周辺に幅数 100m～2km 程度で広く分布するもので、大部分は海面下に分布し、干潮時に一時海面上に露出する。

(9) 酸性貫入岩類：本部半島及び国頭村の西海岸沿いに、石英斑岩、安山岩斑岩、紫蘇輝石安山岩が分布している。これらは岩脈、岩株、岩床として、恩納村名嘉真から大宜味村塩屋湾付近に分布している。

3) 土壌 (図 8)

土壌の分布はほぼ地質の分布に対応している。主として石灰岩 (古生界)、泥岩・砂岩・チャート (古生界)、砂岩 (白亜系～古第三系)、礫岩・砂岩・泥岩 (古第三系)、国頭礫層の分布地域には国頭マーヅ (赤色土壌、黄色土壌、表層グライ系土壌) や岩屑性土壌が見られる。また、泥岩・砂岩 (新第三系鮮新統) の分布地域にはジャーガル (石灰質灰色台地土壌) が、第四紀の石灰岩の分布地域には島尻マーヅ (暗赤色土壌) が分布する。

これらの主な土壌の特徴はつぎのように整理される。

(1) 岩屑性土壌：岩屑性土壌は斜面上にある風化岩や崩壊した土砂等を母材とするもので、地表 20～50cm 以内に未風化ないし半風化の礫が多く含まれた未熟な土壌で、一般的に酸性土壌である。

(2) 未熟土壌：未熟土壌は「クチャ」と呼ばれている。「クチャ」は土壌というよりは泥岩そのものをさすことが多い。母材は島尻層群の泥岩で、土色は灰～黄灰色を呈し基盤岩に近づくほど青灰色を呈する。この土壌はアルカリ性土壌で、粘土の含有量が多いため排水性が悪く、粘着性と可塑性が強い。したがって、雨が降ると泥のようになり、晴れて乾燥するとコンクリートのようになってしまう。

(3) 赤色土壌・黄色土壌：赤色土壌や黄色土壌は「国頭マーヅ」と呼ばれている。母材は国頭層群の千枚岩、粘板岩、砂岩等あるいは国頭礫層である。国頭マーヅは侵食を受けやすく雨にあうと赤土流出のもとになっている。土壌に含まれる有機物の量は少ない。

(4) 暗赤色土壌：沖縄島南部の琉球石灰岩の分布域には、「島尻マーヅ」と呼ばれる暗赤色土壌が分布している。「島尻マーヅ」は石灰岩を母材とした黄色～黄褐色あるいは暗い赤褐色の中性～弱アルカリ性の土壌で、保水力が小さいことが特徴である。

(5) 褐色低地土壌：褐色低地土壌は河川沿いの狭い谷底平野や海岸沿いの平坦地に分布する沖積土壌である。地下水位が低く、排水性は良好である。土壌は酸性からアルカリ性までである。

(6) 灰色台地土壌：島尻層群の泥岩を母材とする灰色土壌は「ジャーガル」と呼ばれている。土壌は灰色を呈し、地下水位が比較的高く、酸性からアルカリ性までいろいろである。

(7) グライ土壌：グライ土壌は山地や丘陵地の凹地及び低地に分布する沖積土壌である。排水性が悪く、地下水や灌漑水の影響をうけている土壌であり、多くは水田等に利用されている。黒泥土壌は河口部や湾奥部の湿地等 (排水状態の悪いところ) に分布している。黒泥土壌は泥炭が変質した土壌で、やや灰色味を帯び多量の有機物を含む。一般にマングローブ群落を形成するが、海水の影響がないところはアダン等の群落をなす場合がある。

(8) 泥炭土：泥炭土は自然堤防や砂丘等の後背湿地に発達することが多い。湿地に繁茂した植物 遺体が水面下で沈積し、不完全な分解をへて泥炭化し、水面上に露出したものである。

(9) 造成地土壌：造成低地には層位分化の未発達な土壌がある。海岸低地や谷底低地の水田や低湿地には、赤色土壌や黄色土壌等を 35cm 以上客土して畑地化した地域がある。土

地改良や農地開発等の事業では大規模な土壌の動きがあり、客土も盛んに行なわれているが、大型機械の踏圧による圧密層のため排水不良を生じやすい。

4) 土地利用（図 9）

沖縄県作成平成 4 年および平成 10 年土地利用図（沖縄島）（沖縄県，1999）を使用した。分類はこれらのデータをそのまま利用し、特に区分の変更は行わなかった。

5) 地表踏査結果（図 10～16）

調査範囲内の地形・地質・土壌の状況を把握し、赤土流出の発生環境を考察するため、沖縄島を横断する方向に数測線踏査を行い、また比較のため赤土流出の少ない渡嘉敷島も踏査した。図 10～16 は地形と土壌の関係を把握するため作成した立体地形図と土壌状況を表示したものである。

沖縄島では一般に地形・地質と土壌とは、その分布に一定の関連が見られ、表 1 のように関連づけることができる。

表 1 地形・地質・土壌関連

Table 1 Landform, geology, soil

地形	地質	土壌
山地	石灰岩を除く古期岩類	黄色土 表層グライ系赤黄色土
	古期石灰岩	岩石地・暗赤色土壌
丘陵	新期堆積物（砂礫層） 風化岩（深層風化）	赤色土
台地・段丘	新期堆積物（砂礫層）	赤色土
	琉球石灰岩	暗赤色土，岩石地
低地	沖積層（谷底低地）	低地土，未熟土
	沖積層（海岸低地）	

山地においては、有効土層厚の比較的薄い黄色土が分布し、風化岩が地表に露出する機会が多い。これは山地の傾斜が急なため、風化作用により形成された碎屑物や土壌が移動しやすく（侵食・運搬作用）、土層が長期に安定的に風化作用を受けないためと推定される（図 10 上段写真）。また、山地では部分的に表層グライ系赤黄色土が分布する。この土壌は表層部が還元作用を受けて灰白色に変質しており、緻密な土層が形成されている（図 14 上段右写真，図 15 上段中写真）。

山地を取り巻くように分布する丘陵地では、土層の厚い赤色土が分布し、特に丘頂緩斜面や比較的平坦な場所では土層厚が厚い。丘陵は古い海岸段丘が開析されて形成された地形であり、長期間にわたり平坦面として地表に露出し、その間の風化作用により厚い赤色土壌が形成されたと推定される。また、石灰岩以外の堆積物（砂礫層）が堆積する台地・段丘地域でも同様に赤色土が厚く分布する（図 10～15 丘陵地域）。

石灰岩分布地域では、その岩石性質によって上記の地域と土壌の性質が異なる。石灰岩

は雨水による溶食によって独特なカルスト地形を形成するため風化岩の分布も少なく、岩石が直接露出する地形（カレンフェルト）など岩石地となっている場所が多く存在する。本部半島付近や辺戸岬付近に分布する古期石灰岩はその典型である（図 12 上段右写真）。また、新期石灰岩である琉球石灰岩分布地域では、土層は薄く暗赤色土が分布する。琉球石灰岩は表層部を除いて多孔質であり亀裂なども多い。そのため雨水が浸透しやすく地表流が少なく、河川が発達しない土壌流出の起こりにくい地域である（図 13 上段左写真）。

渡嘉敷島の大部分は地形分類から大起伏丘陵に区分され、その土壌は黄色土や表層グライ系赤黄色土よりなり土層は非常に薄く、いわゆる赤土はあまり見られない（図 16）。一方、沖縄島の同様な丘陵地では厚い赤色土や赤黄色土が分布する。これらの土壌状態の差が、慶良間海域の赤土流出が発生しにくい原因の一つになっているものと推定される。渡嘉敷島ではアルコース質砂岩の分布面積が広い。アルコース質砂岩とは、石英・長石（花崗岩の主成分）を主体とした粗粒砂岩であり、風化により長石は白色の粘土に、また石英は非常に風化に強くマサとよばれる土砂状に風化する。このような地質のために渡嘉敷島には赤色土が形成されにくいものと思われる（図 16 右側と左最上部写真）。また、このような風化物が流されてもその粒土構成から、赤土流出のような影響を与えないと思われる。沖縄島では千枚岩（泥岩より変成作用により形成）を主体とする地域で赤黄色土が、また、これら岩盤の風化堆積物が分布する地域では赤色土が厚く形成されている（図 10～15 丘陵地域）。また、沖縄島でも石英ハン岩（花崗岩の一種）の分布する『県民の森』付近では、渡嘉敷島と同様の風化作用および土壌が観察できる（図 14 下段右側 2 枚）。

渡嘉敷島には全く赤土が分布しないわけではなく地質状況によって分布する。地表踏査の結果、渡嘉敷島中央部付近の粘板岩分布地域では赤土の分布が確認できた（図 16 右側下 2 枚）。粘板岩分布地域の丘陵頂部や緩斜面などでは土層は厚く、今後土地利用を行う上で十分配慮をすることが必要である。また、粘板岩は岩盤として剥がれやすい性質を持つため、切り土などを行うと地層の傾斜によっては地滑りを起こす危険性がある。渡嘉志久地区では実際に地滑りが発生し、地滑り土塊中の植生が枯死し、赤土が滑落崖や地滑り土塊および地滑り末端から流出し、トカシクビーチに流出している。

以上のように地形・地質といわゆる赤土の分布状況には強い関連が見られる。これらの結果を整理することによって、地形地質状況から赤土流出の発生しやすさを推定することが可能である。

3. 土壌流亡予測式（USLE）の応用

各種自然条件データ及び土地利用図（沖縄県）と 50mメッシュ標高データより、50mメッシュ土地条件データを作成した。各メッシュには各自然条件、土地利用、標高（h）、傾斜（slope）、流域（id）が属性値として入力されている。この50mメッシュデータを利用して、土壌流出量を USLE 式によって算出した。

1) USLE の概要

(1) USLE：ほ場において土壌流亡を保全する目的で、降雨に起因する水食（降雨侵食）を予測する式＝USLE（Universal Soil Loss Equation）が使用される。この式は、米国において 20 年以上におよぶ実験により導き出された式であり、面状侵食およびリル侵食に対する

年間流亡土量を予測する実験式と定義されている。なお、単位はわが国の状態に合致するよう修正されている（改良山成工調査総括報告書，1991，翁長ら）。

$$USLE: A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

ここに、各係数を宮良川流域赤土流出実態調査（平成7年3月沖縄県環境保健部環境保全課，沖縄県，1997）をもとに決定し、その流出量を算出した。

A：単位面積当りの年間流亡土量（t/ha/year）

R：降雨係数：各地域の降雨侵食指数を数値化したものである（那覇降水量より R=900）。

K：土壌係数：単位降雨当りの流亡土量を与える係数、土壌固有の係数である（表2）。

L：斜面長係数：基準斜面長（20m）に対する比率から求められる係数。

S：傾斜係数：斜面勾配の関数で、斜面長を20mと仮定。

C：作物係数（被覆係数）：作物の種別とその生育状態で定まる係数。

P：保全係数：畝立て方向、等高線栽培など保全的耕作の効果を示す係数。

表2 土壌係数一覧表

Table 2 Soil-erodibility factor values

土壌名	K
赤色土壌	0.3
黄色土壌	0.3
表層グライ系赤黄色土壌	0.3
灰色台地土壌	0.3
グライ土壌	0.2
低地土壌	0.2
未熟土壌	0.2
暗赤色土壌	0.1
岩屑性土壌	0

(2) 沖縄県土地利用図

平成4年及び平成10年沖縄県作成土地利用図より、その土地利用分類を利用し、作物係数C及び保全係数Pを決定し、土砂流出量を算定した（表3）。

表3 作物係数・保全係数一覧表

Table 3 Cropping-management factor and conservation practice factor values

土地利用	C	P	土地利用	C	P
サトウキビ	0.2	0.3	空地	0.05	0.3
パイナップル畑	0.6	0.3	公園緑地	0.02	0.1
果樹園	0.4	0.3	一般住宅地区	0.01	0.1
茶畑	0.3	0.3	運動競技施設	0.02	0.1
普通畑	0.4	0.3	運輸流通施設	0.01	0.1
田	0.01	0.1	供給処理施設	0.01	0.1
畜舎	0.01	0.1	公共業務地区	0.01	0.1
温室	0.01	0.1	厚生地区	0.01	0.1
広葉樹林	0.005	0.1	工業地区	0.01	0.1
混合樹林	0.005	0.1	商業地区	0.01	0.1
針葉樹林・天然林	0.005	0.1	文教地区	0.01	0.1
野草地	0.05	0.3	中高層住宅地区	0.01	0.1
改装工事中の区域	1	1	道路	0.01	0.1
裸地	1	1	海・ダム・池など	0	0

2) USLE 計算結果

各土地利用状況からの赤土流出量分布図とその土地の潜在的な赤土流出危険性を表す分布図を USLE 式より作成した。赤土流出量分布図は現時点での流出量の多い地点を表すことから、赤土流出対策を検討する場合に有効である。また、赤土流出危険性を表す分布図は現在の土地利用では赤土流出を発生させていない場所でも、将来開発行為により土地利用が変化した場合には赤土流出の危険性がある場所を特定でき、開発計画策定の参考になるものと思われる。

(1) 土地利用による赤土流出量 (図 17)

沖縄島北部について平成 4 年及び 10 年土地利用図をもとに作物係数 C 及び保全係数 P を決定し、USLE 式により赤土流出量を算出した。ただし、農地については最大傾斜 5°とし、これを上回る場合は傾斜を 5°として USLE にて計算した。算出したメッシュごとの土壌流出量をその程度によって着色した主題図が図 17 である。赤色が濃いところほど流出量の多い箇所を表す。また、青色区分線は流域であり流出する海域を推定することが可能である。

計算結果は GIS を利用すると、位置座標処理を施した地形図や空中写真と重ね合わせることが可能になる (図 18)。このような処理によって赤土流出源が地図上で特定でき、対策などをとりやすくなる。

(2) 流域ごとの赤土流出量 (図 19)

赤土流出が相対的に大きい流域を表示するために、USLE による赤土流出計算結果 (1998 土地利用) を河川流域ごとに集計し、さらにその流域面積で除することにより、単位面積当たりの赤土流出量を算出した (図 19)。沖縄島西海岸では名護市屋部川流域や本部半島、名護市～大宜見村～国頭村にかけて高い値を示す。また、東海岸側では名護市～東村平良付近にかけて高い値となっており、赤土流出の激しい場所と一致する。

(3) 赤土流出危険度 (図 20)

USLE 式の $R \cdot LS \cdot K$ 部分は、自然条件 (地形, 土壌, 降雨係数) により決定し、 $C \cdot P$ 部分は土地利用など人為的要素によって決定する。そこで、USLE 式の $R \cdot LS \cdot K$ 部分のみを算出し、この数値が潜在的な土砂流出を表しているものと考え赤土流出危険度と定義した。また、この数値は地表を裸地にしたときの赤土流出量と考えることも可能であり ($C = P = 1$)、想定できる土地利用の最大赤土流出量ともなる。図 20 は、USLE の $R \cdot LS \cdot K$ 部分の計算結果から作成した沖縄島赤土流出危険度マップである。以下この値を『USLE 危険度』と呼ぶ。

図 21 は傾斜と USLE 危険度を比較するため作成した。グラフより USLE 危険度は土壌係数ごとに傾斜の関数として表されている。図中の曲線は上から $K=0.3, 0.2, 0.1, 0.0$ の場合の数値曲線となっている。以上から、 $R \cdot LS \cdot K$ より算出した赤土流出危険度マップは斜面傾斜に大きく影響されていることが推定される。

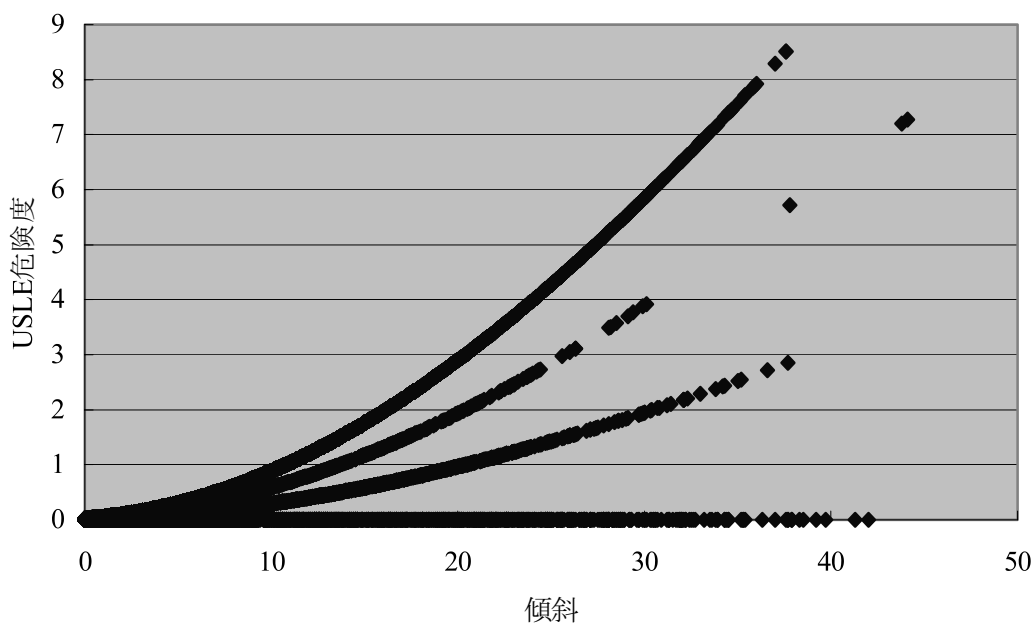


図 21 斜面傾斜・USLE 危険度相関図

(図中の曲線は上から土壌係数 $K=0.3, 0.2, 0.1, 0.0$ の場合)

Fig. 21 Scatter plot of slope and red soil run-off risk by USLE

(Curves plotted according to $K=0.3, 0.2, 0.1$ and 0.0 from the top)

(4) USLE 危険度の検討 (図 22)

USLE 危険度分布図と赤土流出の多い地点 (土地利用状況と USLE により算出) を重ね合わせ、USLE 危険度と実際の赤土流出の整合性を検討した。

大宜味村～東村、名護市西海岸～本部半島付近では赤土流出の多い箇所が USLE 危険度の低い地点となっている。原因は、大規模な農地造成が段丘面や丘陵頂部緩斜面など比較的平坦な地域で行われているためと推定される。このような農地分布が USLE 危険度と赤土流出の差異となっているものと推定される。

USLE 危険度大を赤土発生危険箇所と想定すると段丘面や丘陵頂部緩斜面は赤土発生源にならないという誤解を生じ、赤土流出防止対策を誤る可能性がある。また、赤土分布が丘陵や台地・段丘の平坦面や緩斜面に集中し、一方山地の急斜面や段丘崖などで直接岩盤が露出している状況より、傾斜だけが赤土流出危険度に大きく影響するとは考えにくい。従って地形地質状況を加味して、USLE 危険度を改良する必要がある。

4. 赤土流出危険度マップの検討

作成した50mメッシュデータを利用し、上述の問題点を回避する手法を検討する。

1) 開発活力を考慮した危険度マップ (図 23, 24)

長期的・広域的に赤土流出源である農地による危険度を判定するため、畑地 (改良山成工) 開発可能性分級を利用し、開発圧力の高い地域の抽出を行った。畑地 (改良山成工) 開発可能性分級は旧国土庁土地分類調査法の地形、地質、土壌より畑地として開発可能 (適

地)を分級操作によって選定する手法である。標高メッシュデータを使って、500m四方の地域の起伏量とそのメッシュの傾斜から、土地の造成難易により分級し、適地を選定する手法である。今回はこの手法により、起伏量に対し表4の分級を行った。さらに傾斜に対しては傾斜0~8°に対してポイント10を与え、以上2個の数値を加算することによりそれぞれのメッシュの状況を判断する指標とした。

表4 起伏量分級値
Table 4 Slope classification

500×500mメッシュ内起伏量	0~15m	15~30m	30~60m	60~80m	80~100m	100m以上
分級	5	4	3	2	1	0

分級結果は図24に示し、以後『開発圧力分布図』と呼ぶ。この分級図では、値が0の地点は畑地(改良山成工)開発地としては不適地であり、数値が大ほど開発適地となり開発の圧力が大きくなる。

実際の農地分布と開発圧力分布図を比較するため農地分布を重ね合わせた(図24)。現在の農地は開発圧力分布図の数値が大きい部分に分布することが読みとれ、開発圧力の大きい地域が将来農地開発にさらされる可能性の高い地域、赤土流出源に成る可能性の高い地域であると推定される。したがって、開発圧力分布図は社会的条件を基準とした赤土流出危険度マップと考えることができる。

2) 傾斜・土壌を考慮した危険度マップ(図26, 27)

『開発圧力分布図』の分析から、農地の分布は地形条件(傾斜)に大きく影響されていることが推定された。そこで、USLE式を農地の分布する比較的平坦な場所に限定して利用することを検討した。まず、農地の傾斜分布を分析したところ、農地の92%が傾斜10°以下に分布していることが判明した(図25)。そこで、『USLE危険度』を農地として開発可能な地域に限定するため、傾斜10°以下の地域に限定してUSLE危険度を算出し、分布図を作成した(以後『農地対象USLE危険度』)。この処理を行うことによって、急傾斜によりUSLE危険度の高かった地点がマスクされ、農地開発後の比較的平坦な土地の赤土流出危険度が表示されるようになった。

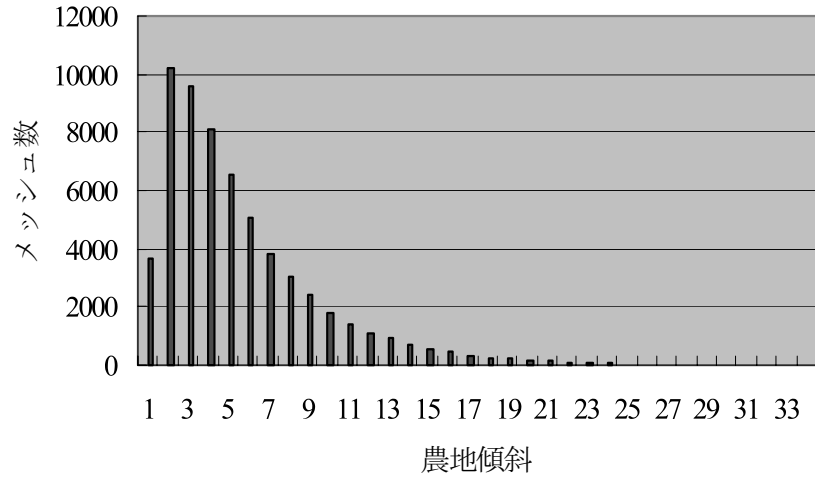


図 25 農地傾斜度数分布
Fig.25 Histogram of sloping farming area

3) 地形分類・地質からの危険度マップ (図 28, 29)

地表踏査結果より，地形・地質状況（地形分類・表層地質）と赤土の形成・分布状況は密接な関係があることが推測される．そこで，地質区分や地形分類ごとに赤土分布状況の相対的な分級点（危険度 1～3）を赤土分布が大きくなるに従い点数が高くなるよう与え，50m メッシュごとに地形・地質状況の点を加算し，各メッシュの赤土分布の相対的分級を計算した．各地質状況，地形区分による危険度（点 1～3）は表 5, 6 に示すように仮定した．

計算結果による分布図は図 28 に示す．また，この危険度を『地形・地質別赤土流出危険度』と呼ぶ．

表 5 地質別危険度
Table 5 Red soil run-off risk by geology

地質名称	危険度	地質名称	危険度
海浜堆積物	1	名護層千枚岩	2
沖積層	1	名護層緑色岩類	2
段丘石灰岩	1	湧川層	2
段丘礫層	3	湧川層砂岩泥岩	2
琉球石灰岩	1	与那嶺層凝灰岩	2
国頭礫層	3	与那嶺層頁岩	2
呉我礫層	3	与那嶺層砂岩泥岩	2
島尻層群砂岩	1	与那嶺層石灰岩	1
島尻層群泥岩	1	与那嶺層チャート	1
班岩類	1	与那嶺層緑色岩類	2
嘉陽層頁岩	2	今帰仁層凝灰岩	2
嘉陽層砂岩	1	今帰仁層石灰岩	1
嘉陽層砂岩頁岩	2	今帰仁層緑色岩類	2
嘉陽層礫岩	2		

表 6 地形区分別危険度

Table 6 Red soil run-off risk by landform

地形名称	危険度	地形名称	危険度
山地	2	谷地	1
丘陵地	3	海岸	1
高位段丘面	3	円錐カルスト	1
中位段丘面	2	石灰岩丘	1
低位段丘面	1	崖	1
低地	1	人工改変地	1

『地形・地質別赤土流出危険度』の有効性を判断するため、同分布図と農地部分の『USLE 危険度』との重ね図を作成した(図 29)．『地形・地質別赤土流出危険度』の高い地域に『USLE 危険度』の大きい農地が分布していることがわかる．

また、計算数値を直接比較するため、『地形・地質別赤土流出危険度』ごとに農地の『USLE 危険度』の分布をまとめた(表 7, 図 30)．その結果、『地形・地質別赤土流出危険度』の数値と『USLE 危険度』に相関があり、『地形・地質別赤土流出危険度』分布図は、地形・地質分類を基準とした土流出危険度マップであると考えられる．

『地形・地質別赤土流出危険度』最高ランク 6 は、USLE 危険度平均値で比較すると、ランク 5 よりも小さい値となる．これは最高ランク 6 に分類される地点が丘陵地や高位段丘面などの平坦な地形に区分されるためである．しかし、これらの地域は『開発圧力』が非常に大きい地域に位置していることや、地質状況も赤土分布の多い砂礫層分布地域であることから、危険度は最高ランクと考えた．

表 7 地形・地質別赤土流出危険度分析表

Table 7 Analysis of red soil run-off risk by landform and geology

地形・地質別 赤土流出危険度	メッシュ数	最少 USLE 危険度	最大 USLE 危険度	平均 USLE 危険度
2	12,826	0	3.21	0.10
3	6,543	0	5.39	0.21
4	12,435	0	5.04	0.33
5	18,943	0	7.28	0.45
6	9,748	0	5.58	0.26

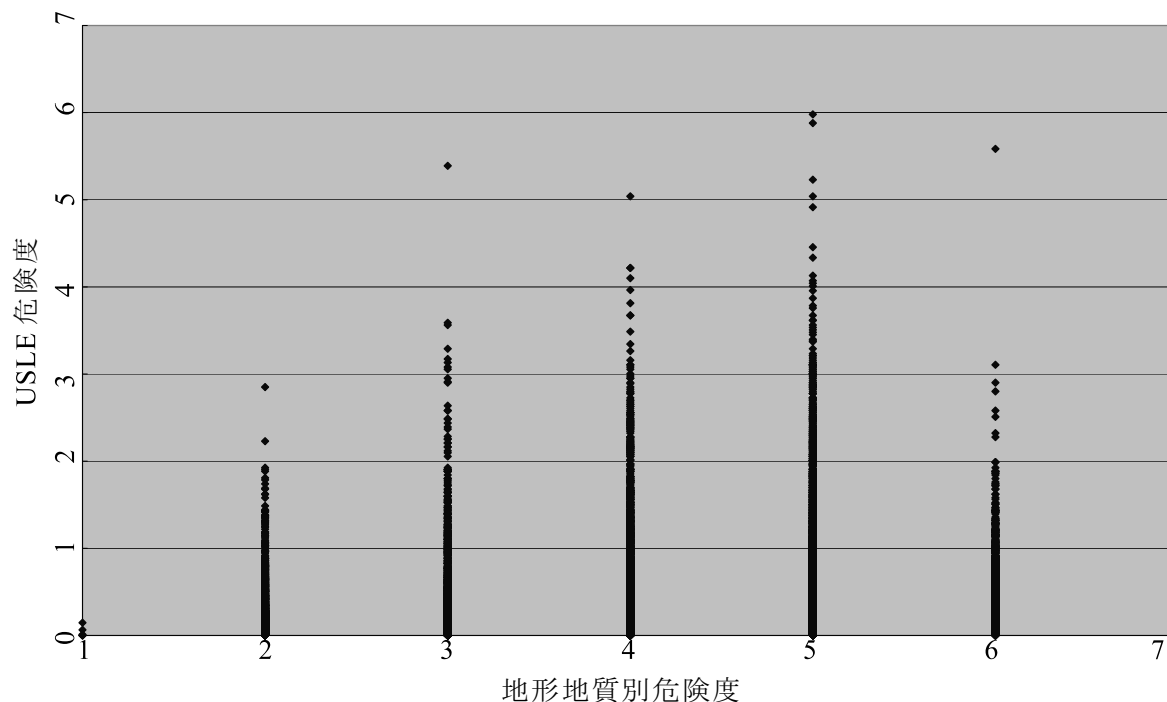


図 30 地形・地質別赤土流出危険度分析図

Fig.30 Scatter plot of red soil run-off risk by landform and geology

4) 土壌分布による危険度マップ (図 31, 32)

土壌による赤土流出危険度は USLE 式の土壌係数 (K) により分級する事が可能である。今回は土壌係数が同じ値でも、地表踏査結果などから、赤土流出危険度を土壌区分より細分し、相対的に 5 段階に区分した (表 8)。なお、その数値は赤土流出 (土壌係数) が大きいほど数値が大きくなるようにした。計算結果による分布図は図 31 に示す。また、この危険度を『土壌区分赤土流出危険度』と呼ぶ。

表 8 土壌別危険度

Table 8 Red soil run-off risk by soil

土壌名	危険度	K
赤色土壌	5	0.3
黄色土壌	4	0.3
表層グライ系赤黄色土壌	4	0.3
灰色台地土壌	3	0.3
グライ土壌	2	0.2
低地土壌	2	0.2
未熟土壌	2	0.2
暗赤色土壌	1	0.1
岩屑性土壌	1	0

表 9 土壌区分赤土流出危険度分析表

Table 9 Analysis of red soil run-off risk by soil

土壌よりの赤土流出危険度	メッシュ数	最少 USLE 危険度	最大 USLE 危険度	平均 USLE 危険度
1	11,090	0.01	1.92	0.06
2	9700	0.01	4.01	0.21
3	704	0.02	2.51	0.27
4	16,195	0.02	7.28	0.47
5	22,354	0.02	5.98	0.32

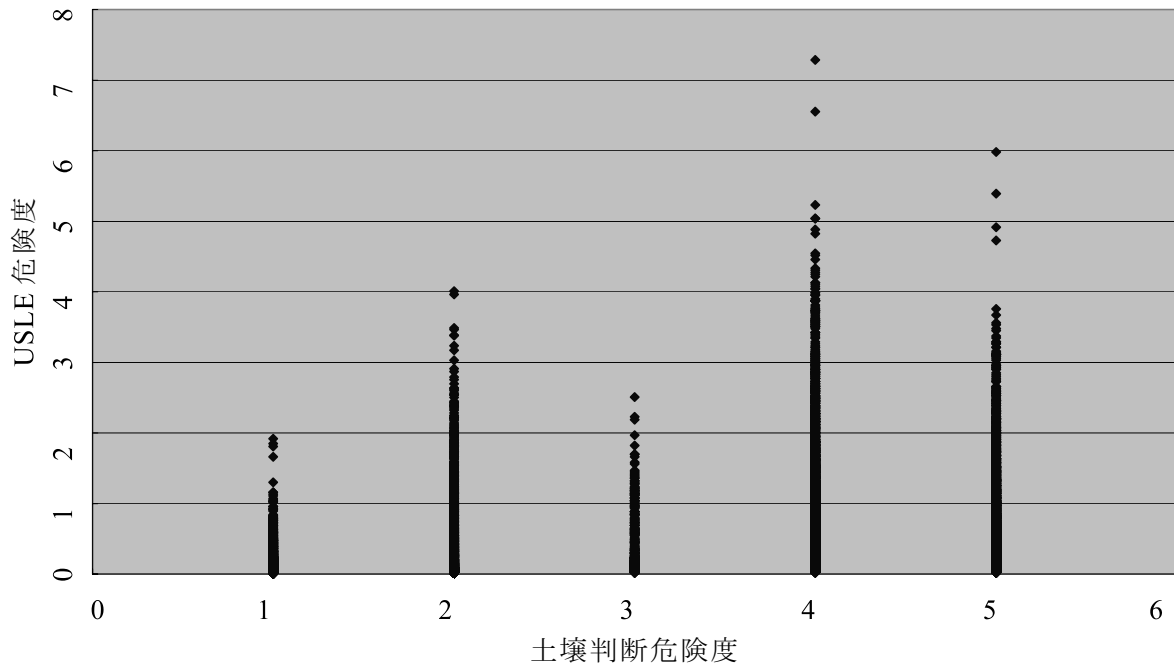


図 33 土壌区分赤土流出危険度分析表

Fig.33 Scatter plot of soil and red soil run-off risk according to soil

『土壌区分赤土流出危険度』の有効性を判断するため、同分布図と農地部分の『USLE 危険度』との重ね図を作成した (図 32)。数値の大きい地域に『USLE 危険度』の大きい農地が分布していることがわかる。また、計算数値を直接比較するため、『土壌区分赤土流出危険度』ごとに農地の『USLE 危険度』の分布をまとめた (表 9, 図 33)。その結果、『土壌区分赤土流出危険度』の数値と『USLE 危険度』に相関があり、この分布図は土壌分類を基準とした土流出危険度マップであると考えられる。

『土壌区分赤土流出危険度』最高ランク 5 は、USLE 危険度平均値と比較すると、ランク 4 よりも小さい値となる。これは最高ランク 5 に分類される地点が赤色土壌分布地の丘陵地や高位段丘面などの平坦な地形に区分されるためである。しかし、これらの地域は『開発圧力』が非常に大きい地域に位置していることや、赤色土壌の分布地域であることから、危険度は最高ランクと考えた。

5) 赤土流出危険度の統合

『地形・地質別赤土流出危険度』と『土壌区分赤土流出危険度』をメッシュごとに加算する事によって、両赤土流出危険度を統合した。計算結果は図 34 に示す。

丘陵・高位段丘などの赤色土壌分布地域で危険度が最高値を示し、山地などで危険度が高く表現されている。一方、沖積低地や琉球石灰岩が分布する台地が赤土流出危険度の低い地域に区分されている。また、古期石灰岩類の分布地域でも赤土流出危険度は比較的低位に区分されている(図 35)。この赤土流出危険度は、USLE と比べ傾斜の効果が強くなり過ぎることがないため、広い視点から危険度を判断しやすい。

まとめ

サンゴ礁に多大な影響を与える陸域自然環境について GIS を使って研究した。調査範囲として沖縄島北部地域(比謝川・天願川以北)を選定し、自然環境データ(地形・地質・土壌)及び土地利用データを編集し、土砂流出量を USLE 式により算出し、赤土流出危険度を検討した。

USLE 式を沖縄島北部に適用することによって赤土流出量を推定した。その結果は現状の赤土流出地域と一致し、赤土流出源の特定や流出量の推定に USLE 式有効であることがわかった。また、計算結果と地図などを重ね合わせて表示することによって、赤土流出対策検討資料を作成することが可能であることを示した。

USLE 式の自然条件から決定する項を利用して赤土流出危険度を表す地図を沖縄島北部について作製した。この地図は傾斜による影響が大きく、赤土流出源である農地が低危険度地域に区分される欠点があることが判明した。そこで、農地として利用可能な地域を中心として、傾斜が 10°以下の地域に USLE 式を適用した改良赤土流出危険度を計算した。その結果、現在の流出源となっている農地などの危険度を高く表示できた。

また、USLE 式以外の手法を用いた赤土流出危険度を算出する方法を検討した。

まず、地形条件の起伏量と傾斜より農地造成などの開発容易性を分級手法により算出し、沖縄島北部の開発圧力を推定した。その結果、現在の農地分布と開発可能性の高い地域が一致する事が判明し、開発圧力の分布図は、今後農地に変化していく可能性の高い地域、すなわち赤土流出源となる地域を表すと考え、赤土流出危険度マップであると推定した。

次に、現地踏査結果から地形・地質区分に赤土分布の相対的なランクを決め、その数値による赤土流出危険度マップを作成した。また、同様に土壌係数を参考に土壌区分土壌ごとに相対的な赤土流出危険度ランクを決め、その数値による赤土流出危険度マップを作成した。さらに、地形・地質区分と土壌区分を統合することによって、地形・地質・土壌による赤土流出危険度マップを作成した。

引用文献・データ

沖縄県(1992) 土地分類基本調査 沖縄本島中北部「金武」「沖縄市北部」。

沖縄県(1992) 土地分類基本調査デジタルデータ(地形分類図, 表層地質図, 土壌図)。

沖縄県(1997) 宮良川流域赤土流出実態調査。

沖縄県（1999）土地利用図デジタルデータ.

（社）全国国土調査協会（1994）土地保全図（沖縄県）.

国土地理院（1997）数値地図 50mメッシュ（標高）日本 III.

国土地理院（1997）数値地図 1/25000（画像）「沖縄」.

亜熱帯総合研究所（2000）サンゴ礁の白化現象に関する調査研究.

亜熱帯総合研究所（2001）サンゴ礁に関する調査研究.



图3 标高区分图

Fig.3 Elevation map, visualization of DEM



图4 倾斜分布图

Fig.4 Slope map, analysis of DEM



图5 集水城・水系图

Fig.5 Watershed and water flow path, analysis of DEM

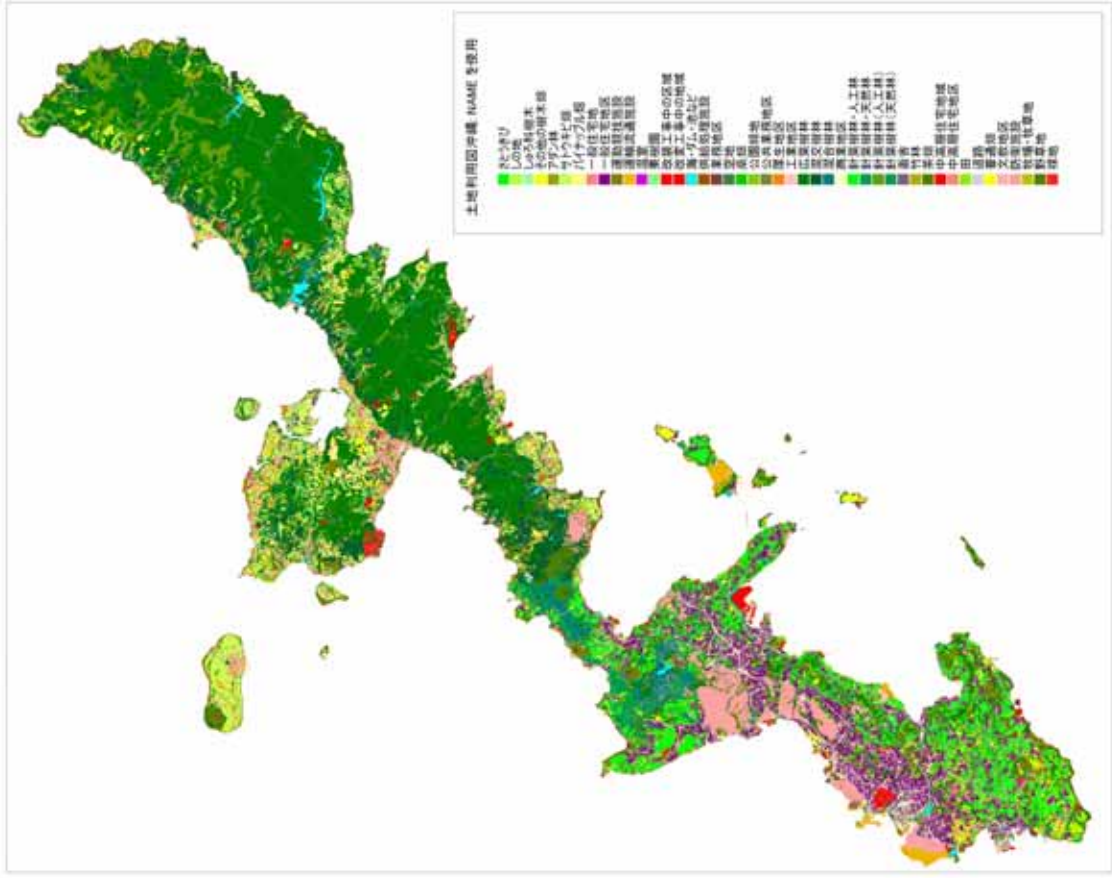


图 9 土地利用图 (1998)

Fig.9 Land utilization map

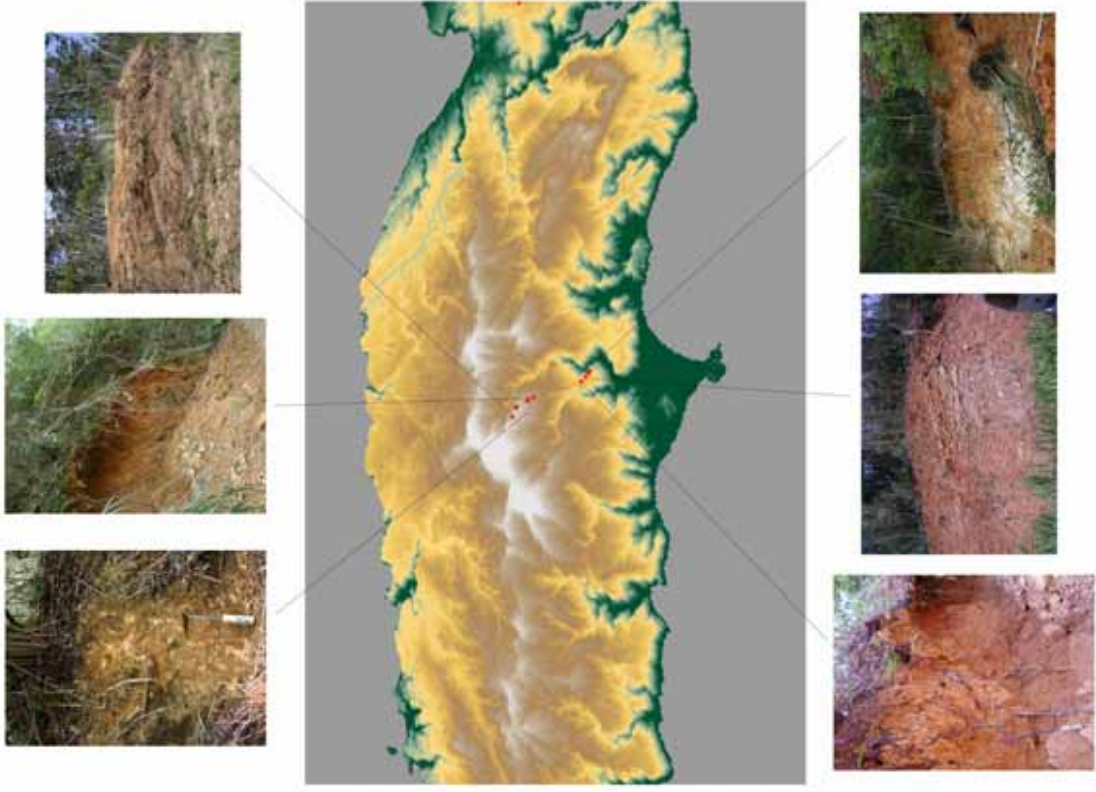


图 10 地表状况图 (国頭地区)

Fig.10 Location in the 3D map and soil profile (Kumigami)

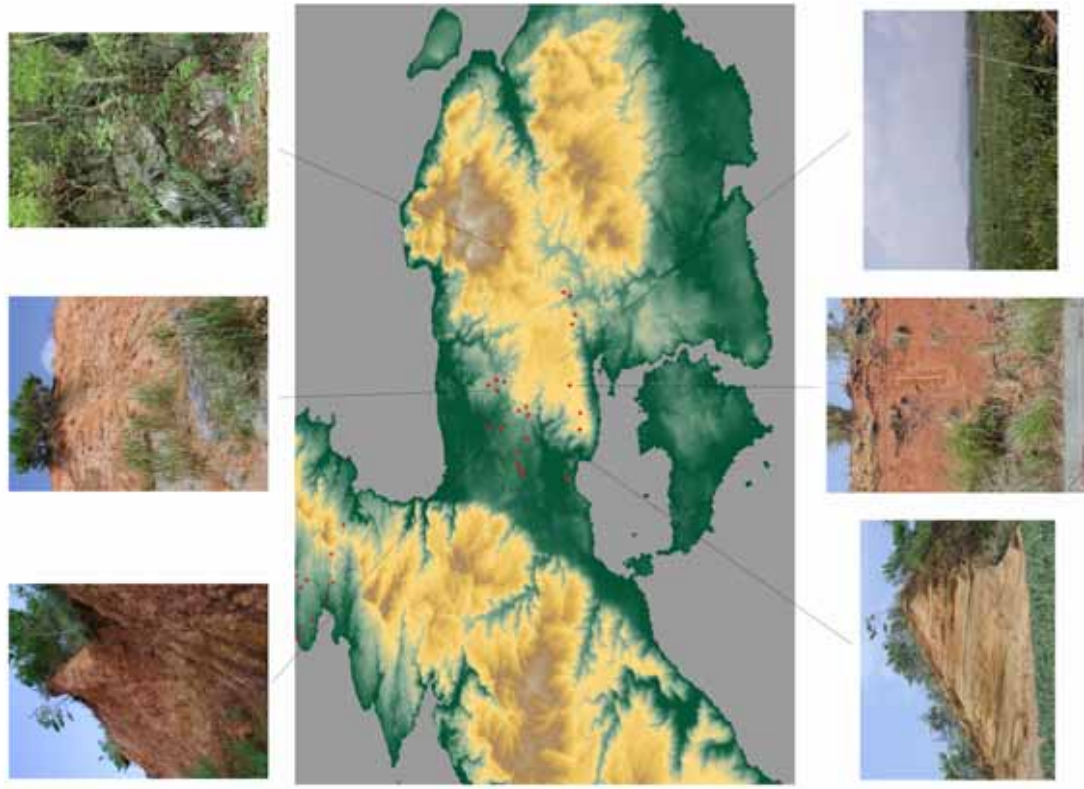


图 12 地表状况图 (名護地区)

Fig.12 Location in the 3D map and soil profile (Nago)

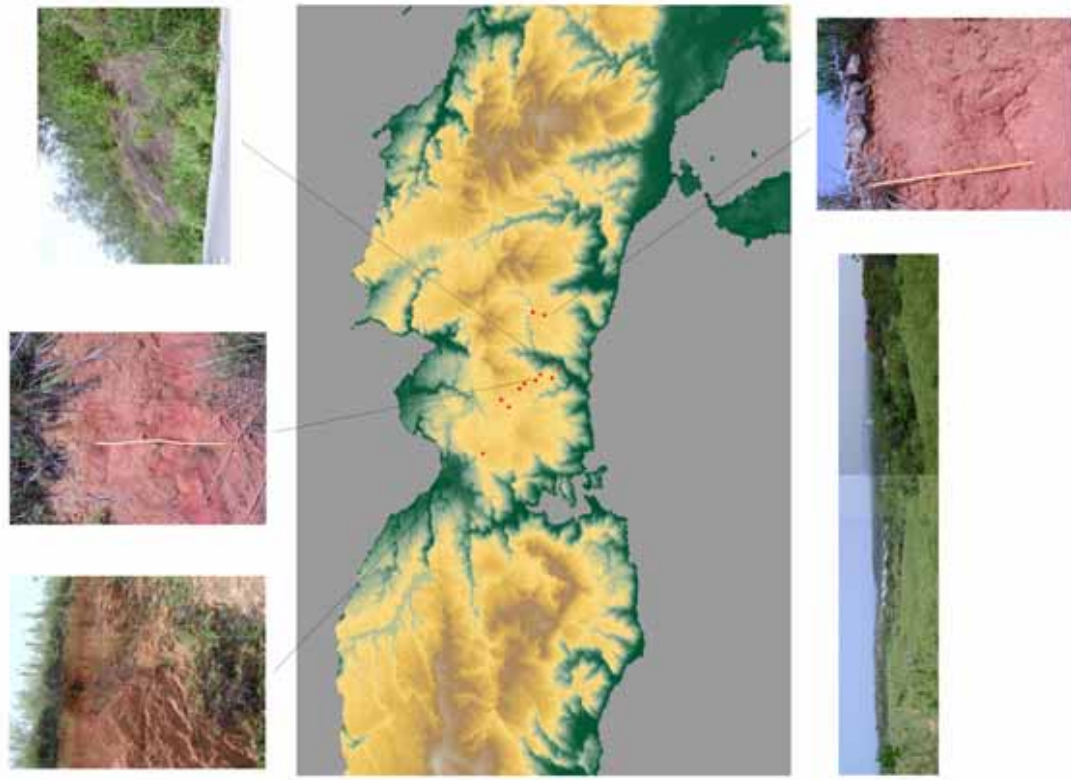


图 11 地表状况图 (大宜見地区)

Fig.11 Location in the 3D map and soil profile (Oigimi)

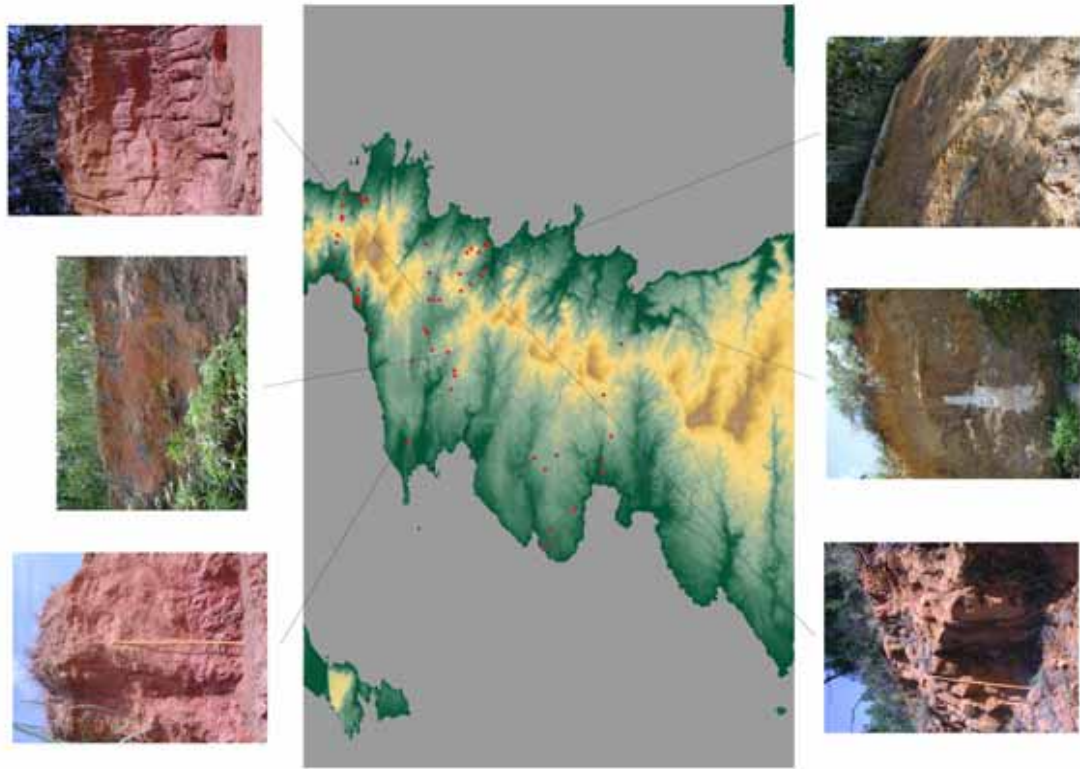


图 14 地表状况图 (金武・恩納地区)

Fig.14 Location in the 3D map and soil profile (Kin and Onna)

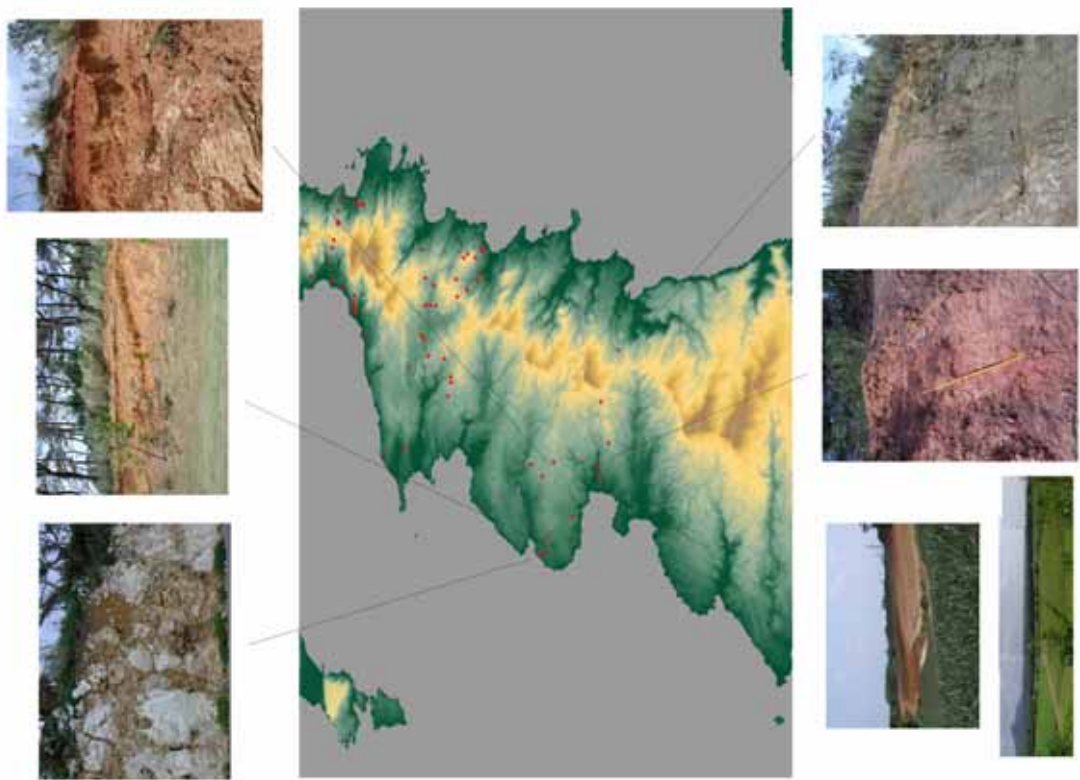


图 13 地表状况图 (直野座地区)

Fig.13 Location in the 3D map and soil profile (Ginoza)

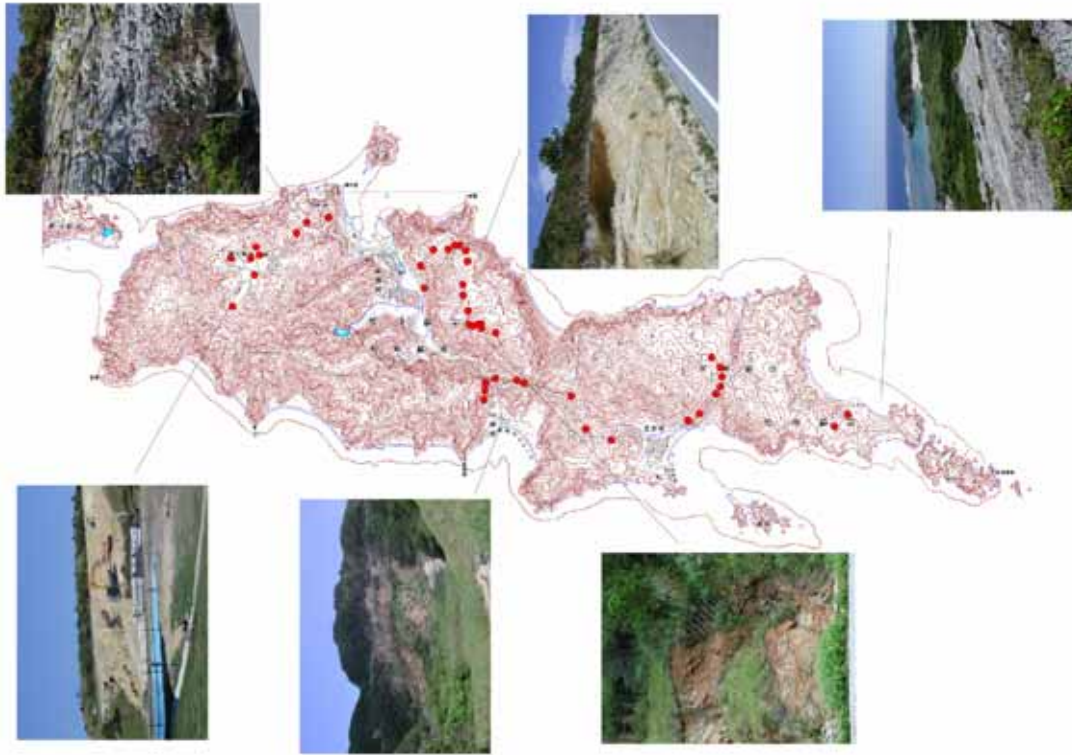


图 16 地表状况图 (渡嘉敷島)

Fig.16 Location in the 3D map and soil profile (Tokashiki Island)

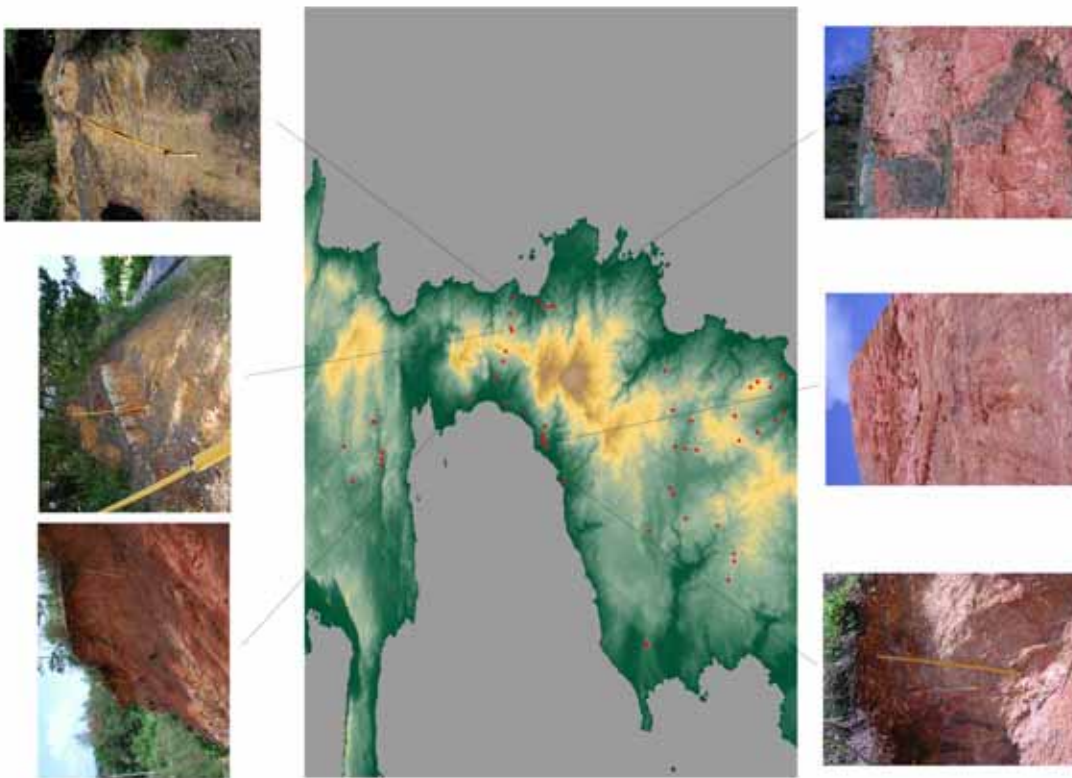


图 15 地表状况图 (金武・恩納南地区)

Fig.15 Location in the 3D map and soil profile (Kin and South Onna)

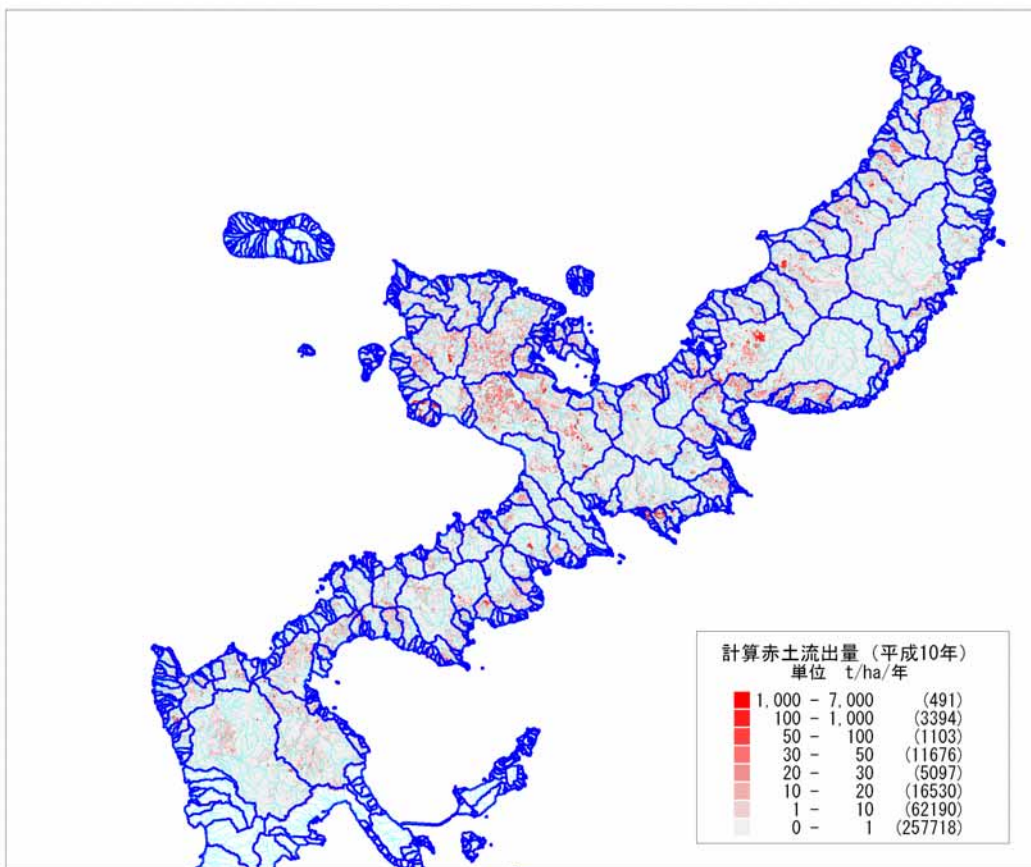
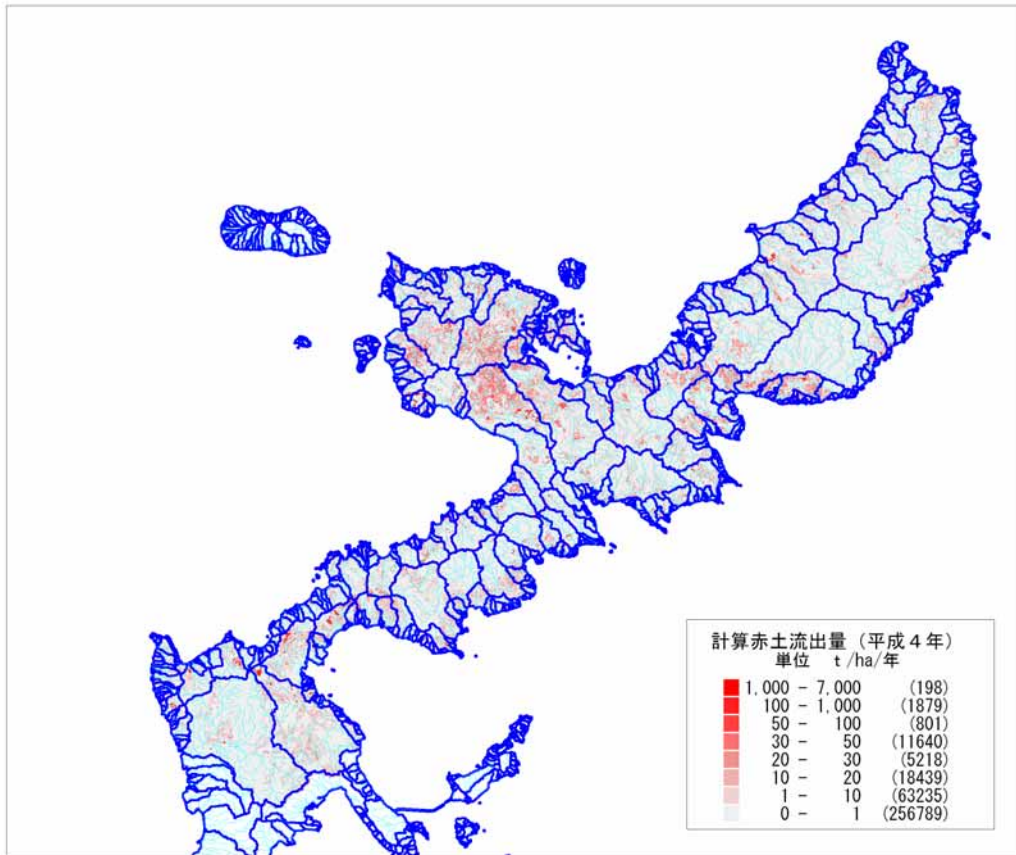


図 17 USLE 計算結果

Fig.17 Red soil run-off and results of USLE calculation

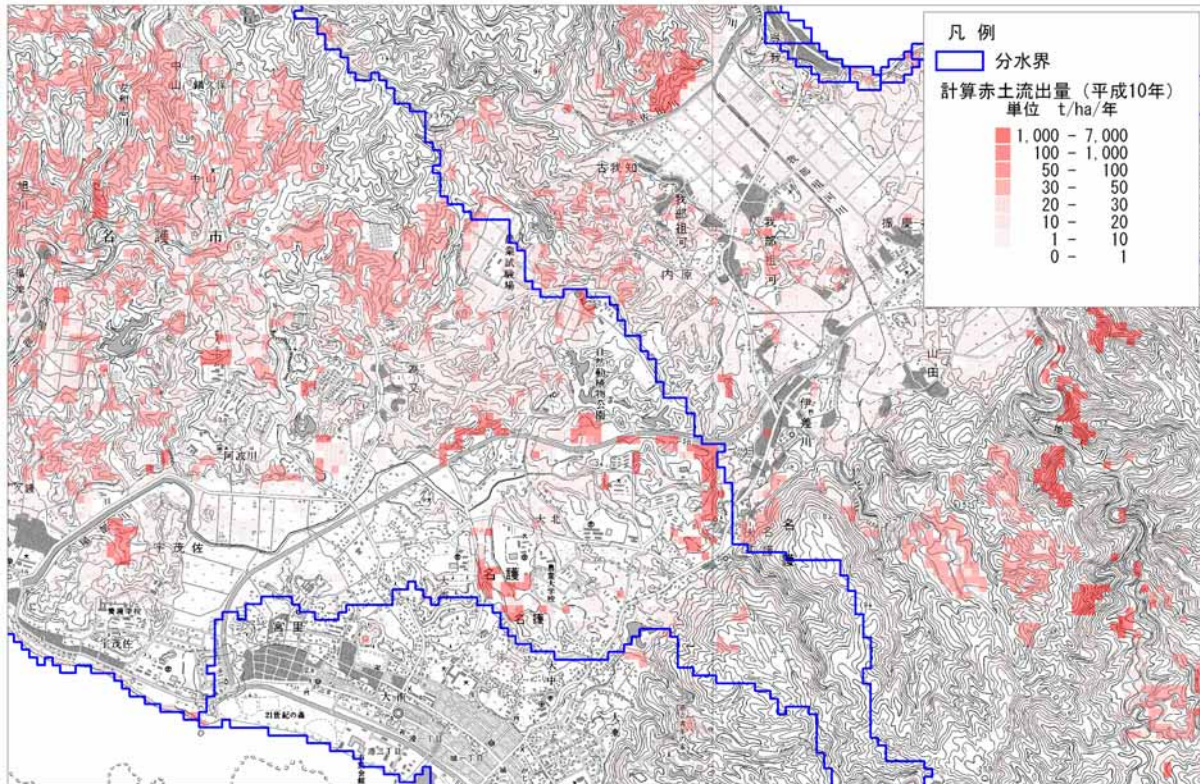


图 18 赤土流出分布，地形図重ね合わせ図

Fig.18 Topography of red soil run-off points

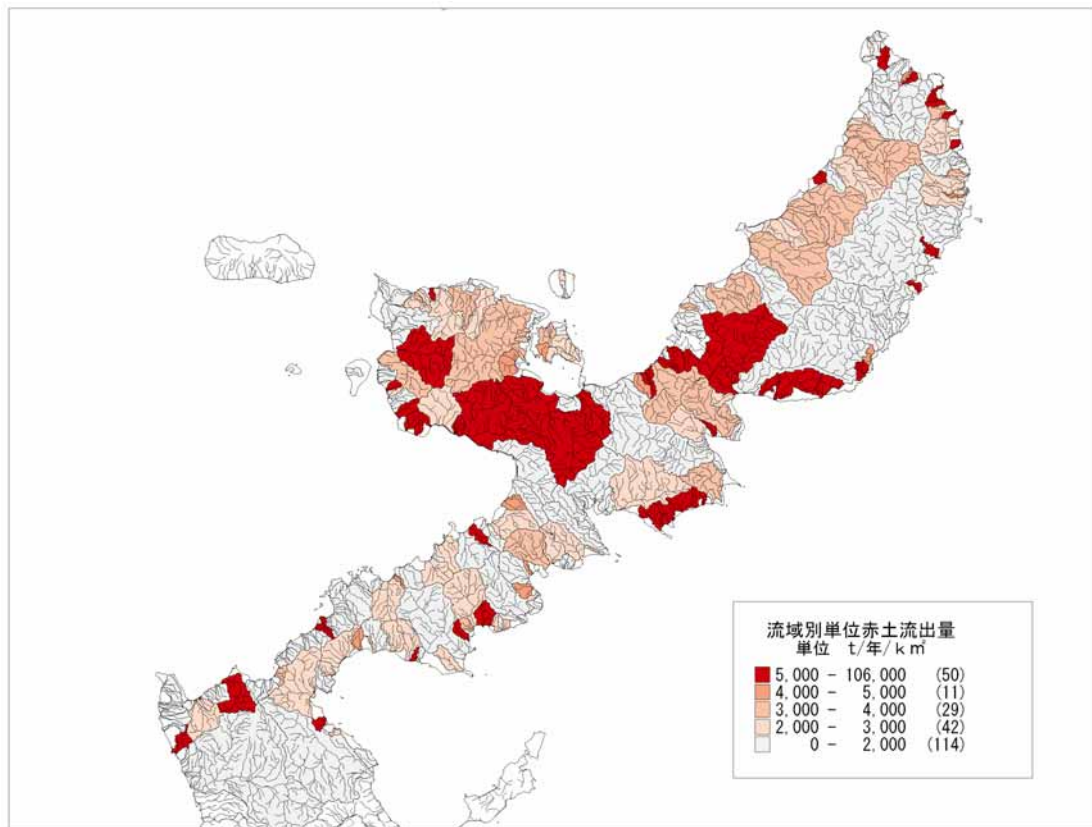


图 19 各流域赤土流出図

Fig.19 Total quantity of red soil run-off of each river

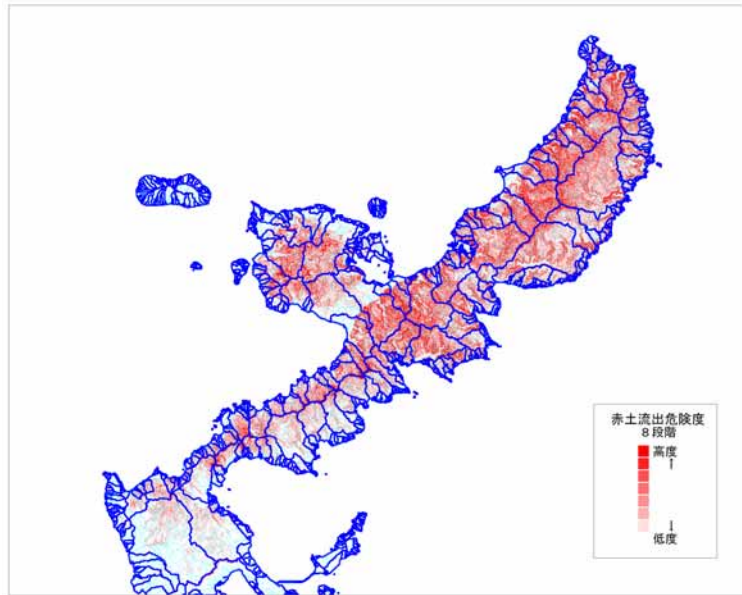


図 20 USLE 赤土流出危険度
Fig.20 Red soil run-off risk by USLE

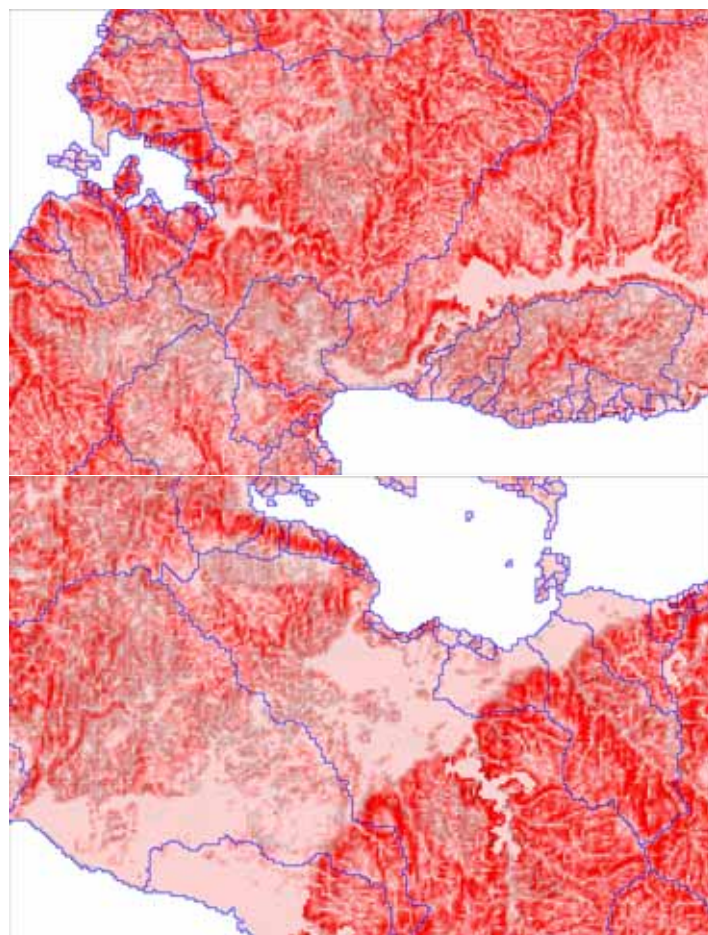


図 22 USLE 赤土流出危険度検討図(上:大宜見・東村, 下:名護西部, 黒アミ:赤土流出源)
Fig.22 Red soil run-off risk by USLE. Upper portion represents area around Ogimi v. and Higashi v.
Lower portion represents area around Nago west coast and shaded area represents red soil run-off points.

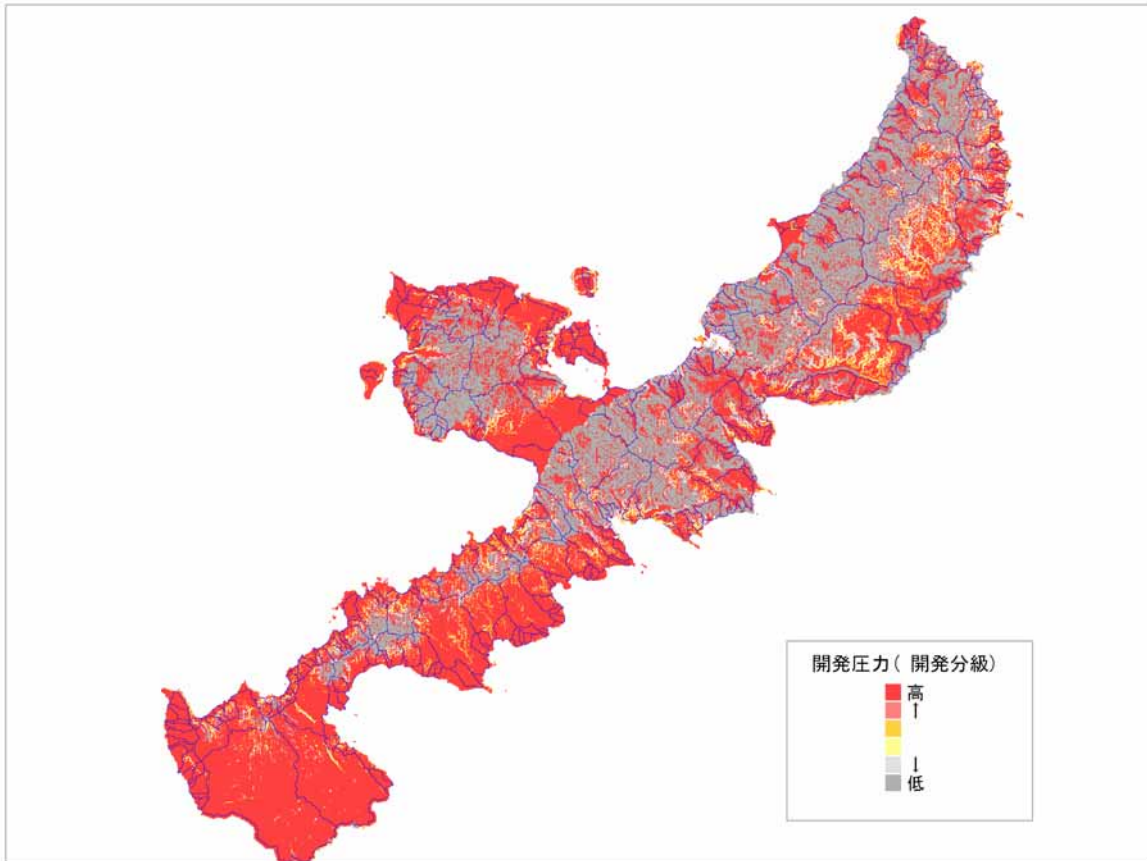


図 23 開発可能性分布図
 Fig.23 Possibility of land development

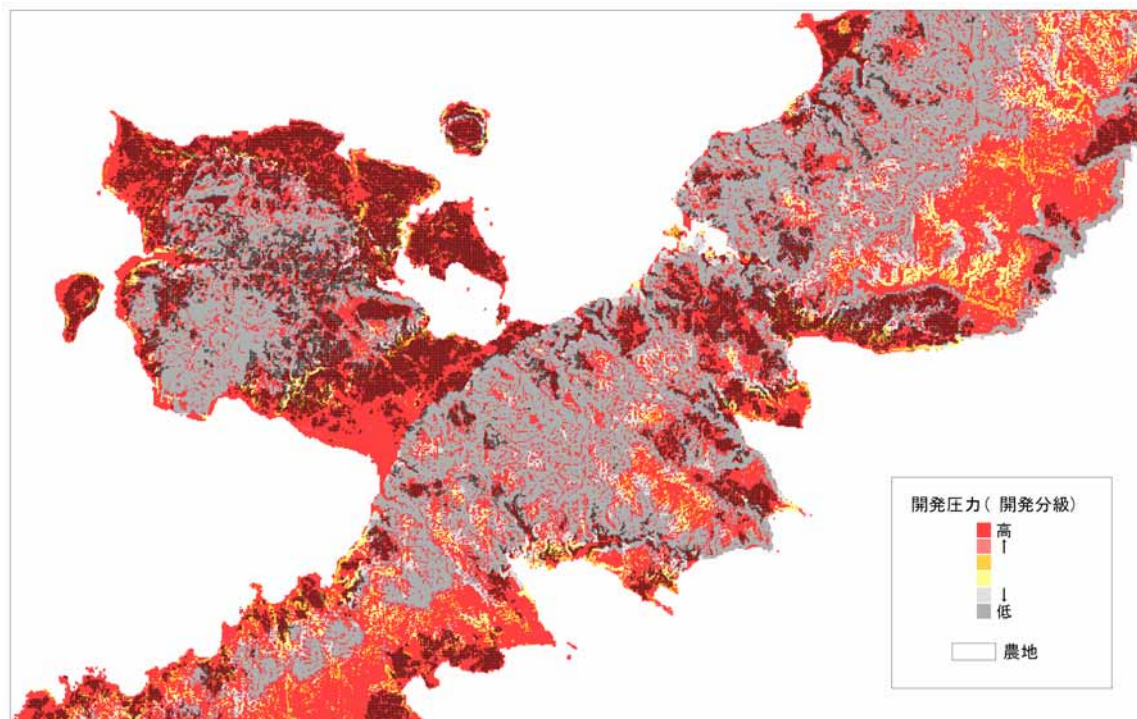


図 24 開発可能性分布及び農地分布図
 Fig.24 Farming area and land for possible development

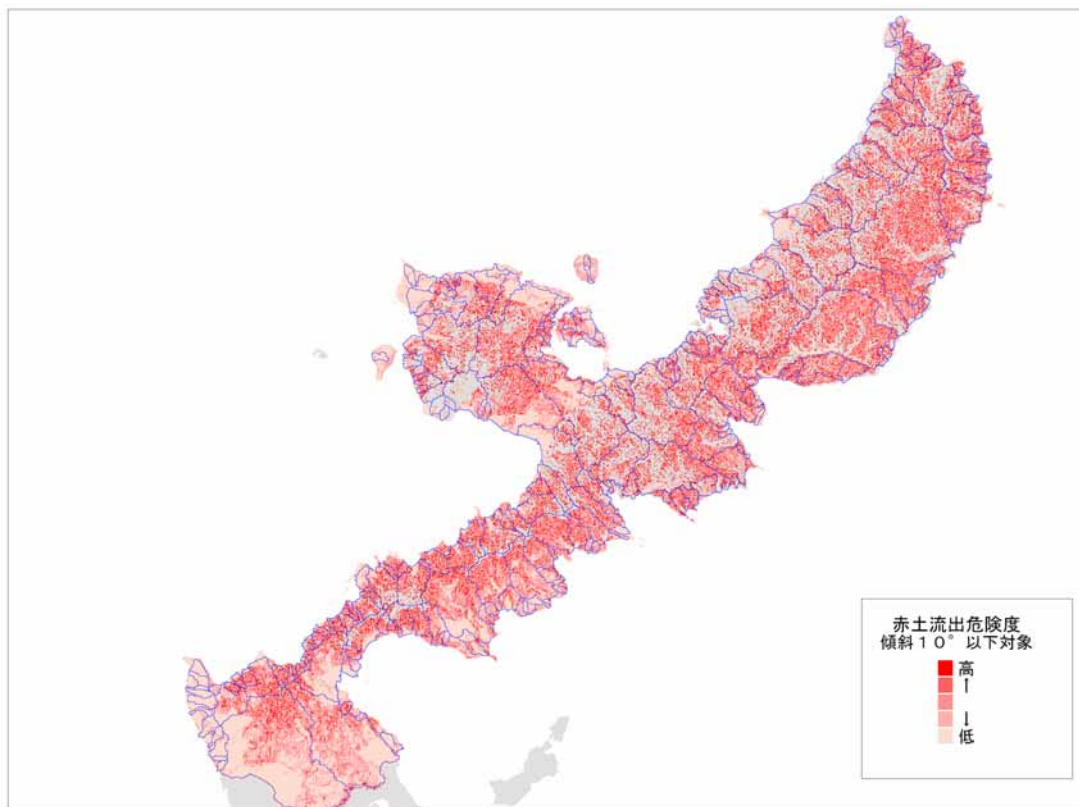


図 26 修正 USLE 赤土危険度マップ

Fig.26 Revised map of red soil run-off risk by USLE

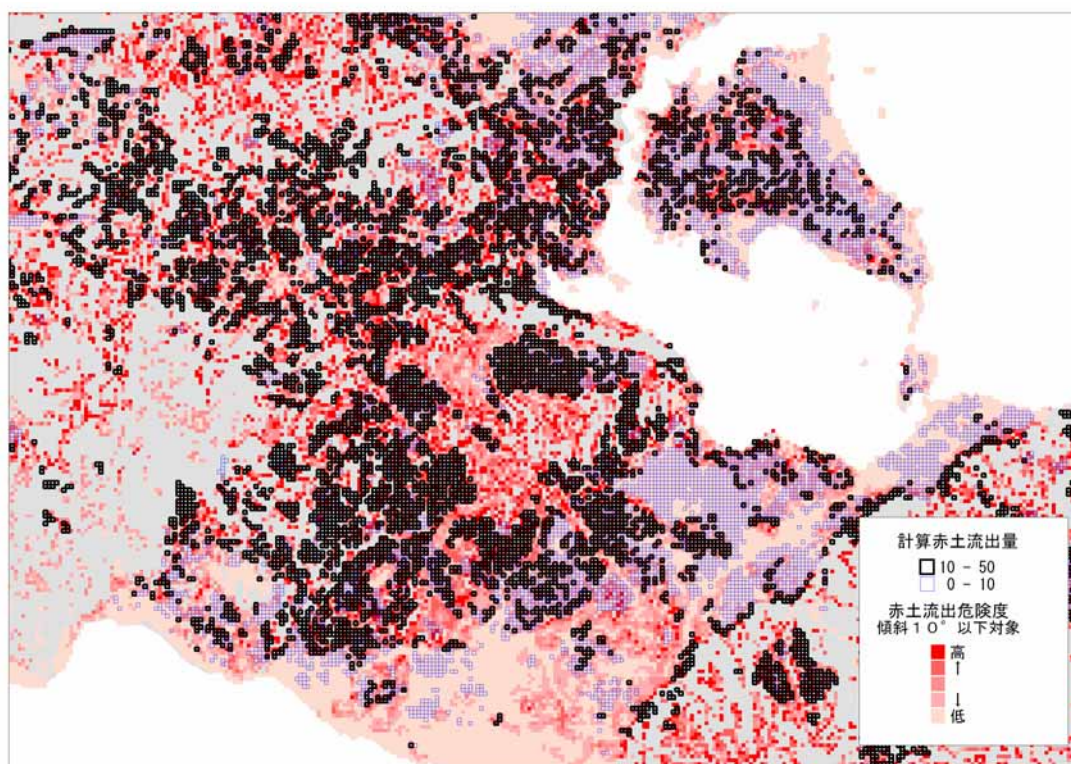


図 27 修正 USLE 赤土危険度及び農地分布図

Fig.27 Farming area and red soil run-off points, revised map of red soil run-off risk by USLE

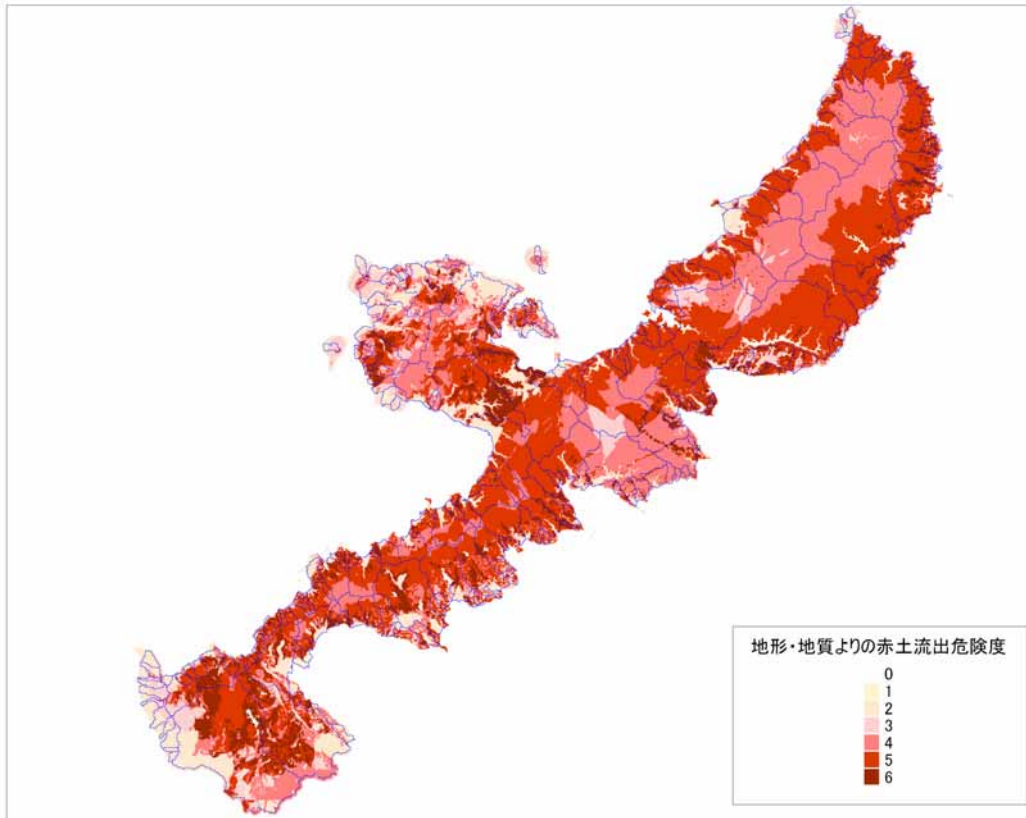


図 28 地形・地質別赤土流出危険度マップ

Fig.28 Red soil run-off risk analyzed by landform and geology

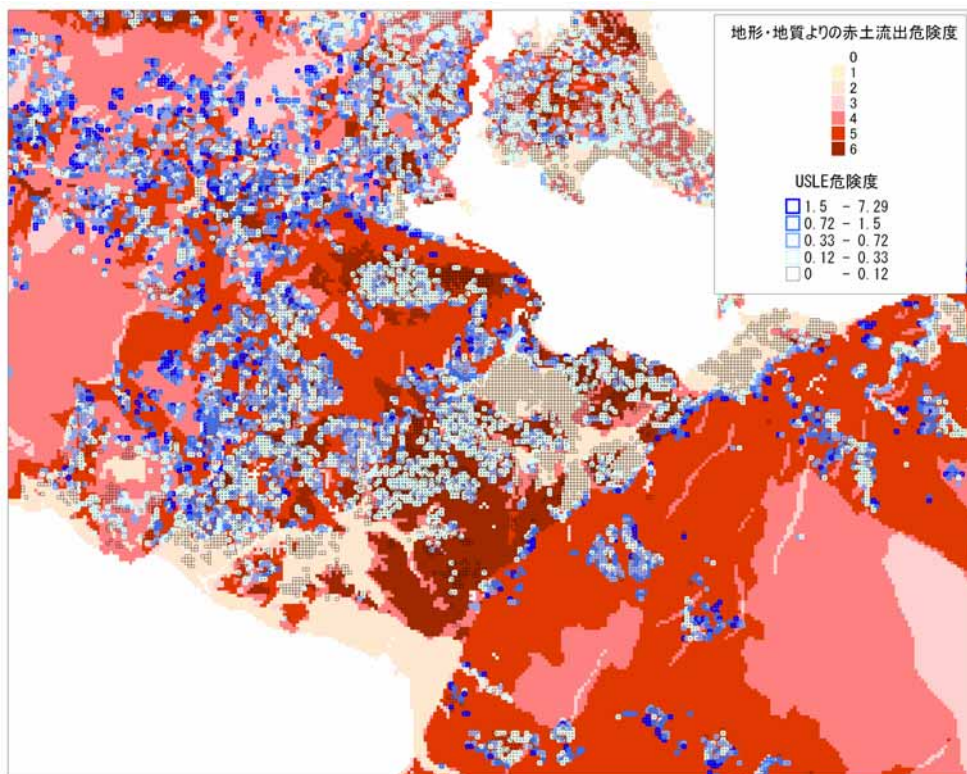


図 29 地形・地質別赤土流出危険度及び農地分布図

Fig.29 Farming area and red soil run-off points, red soil run-off risk analyzed by landform and geology

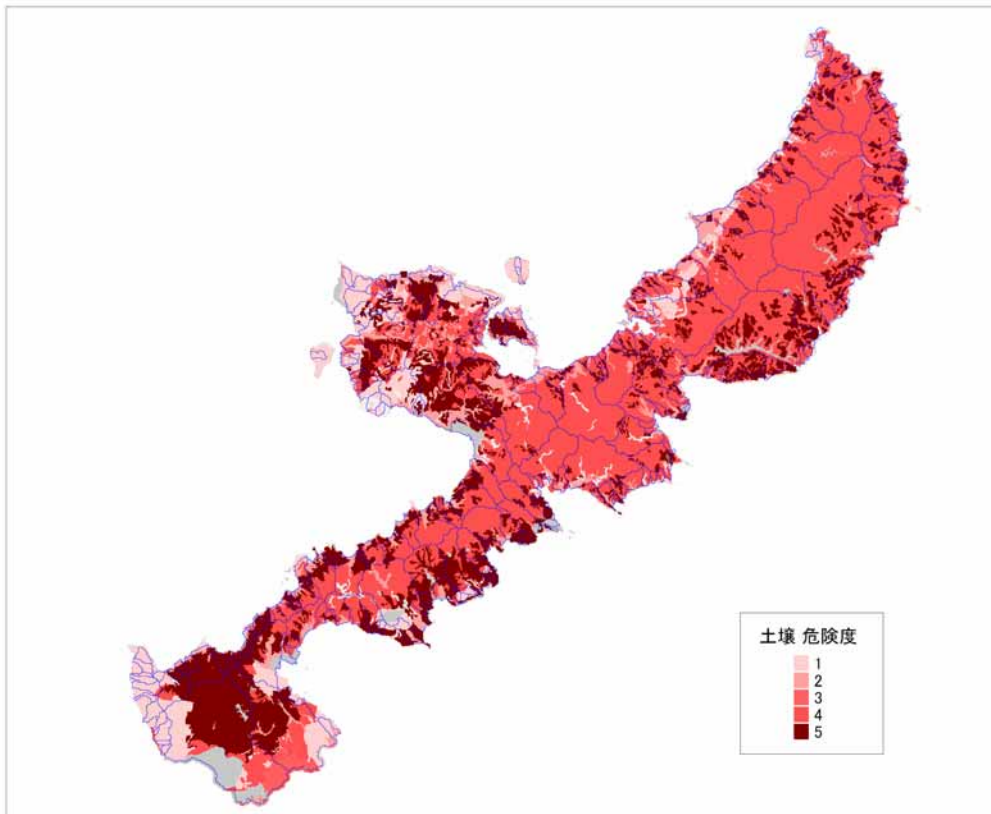


図 31 土壌区分赤土流出危険度マップ
 Fig.31 Red soil run-off risk analyzed by soil

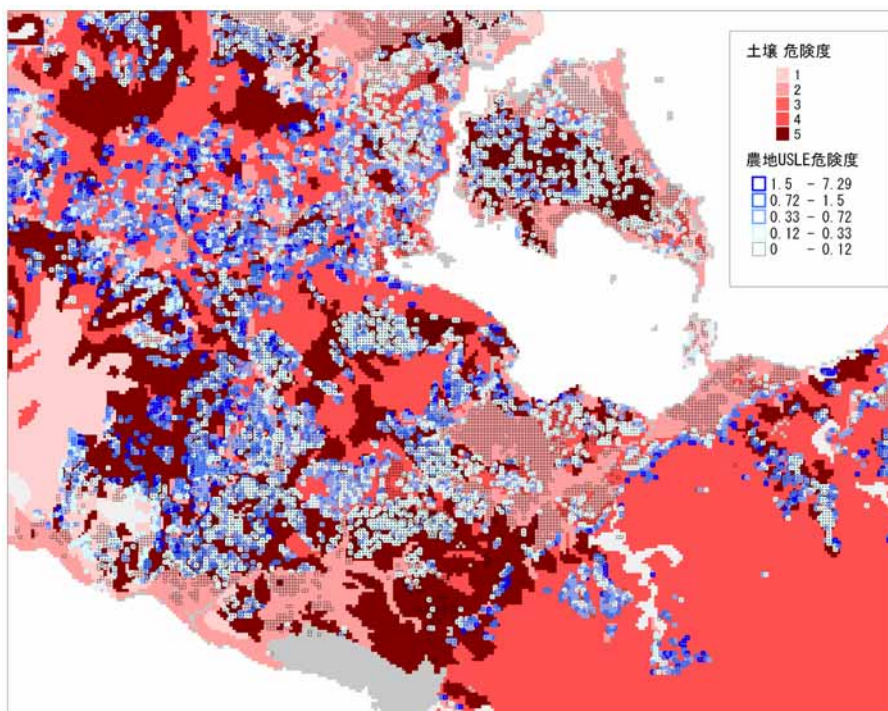


図 32 土壌区分赤土流出危険度及び農地分布図
 Fig.32 Farming area and red soil run-off points and red soil run-off risk by soil

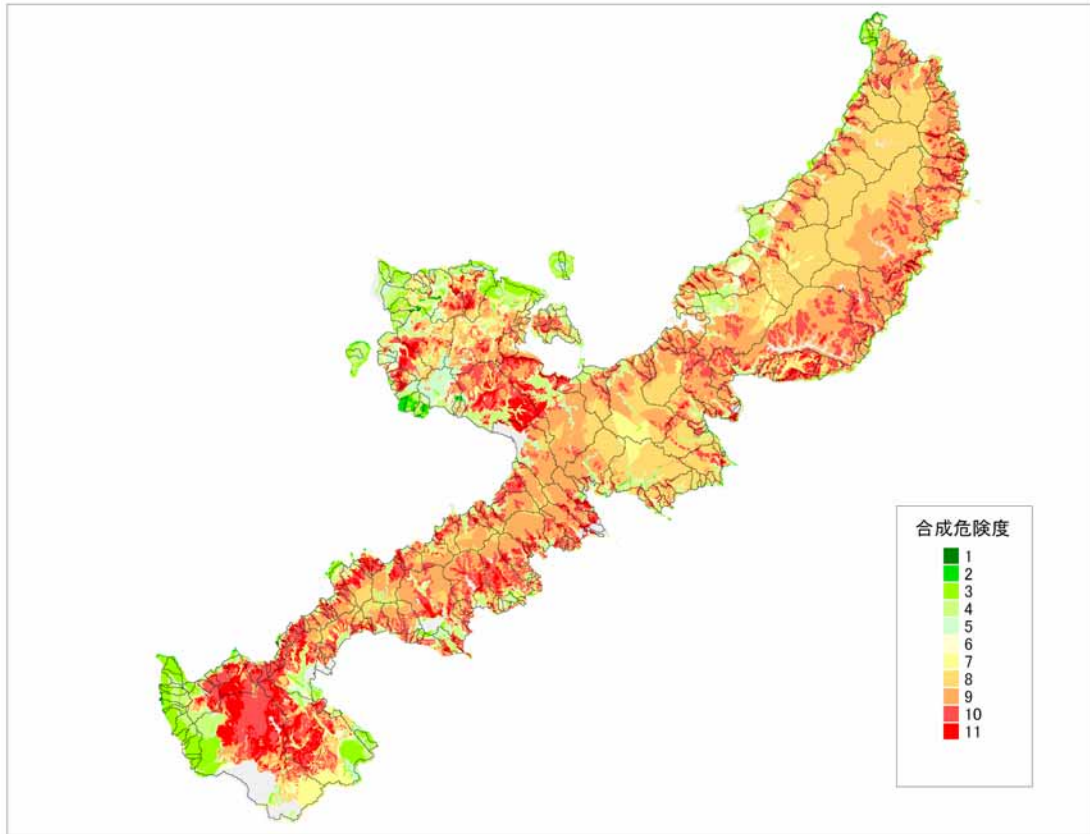


図 34 統合赤土流出危険度マップ
 Fig.34 Comprehensive red soil run-off risk

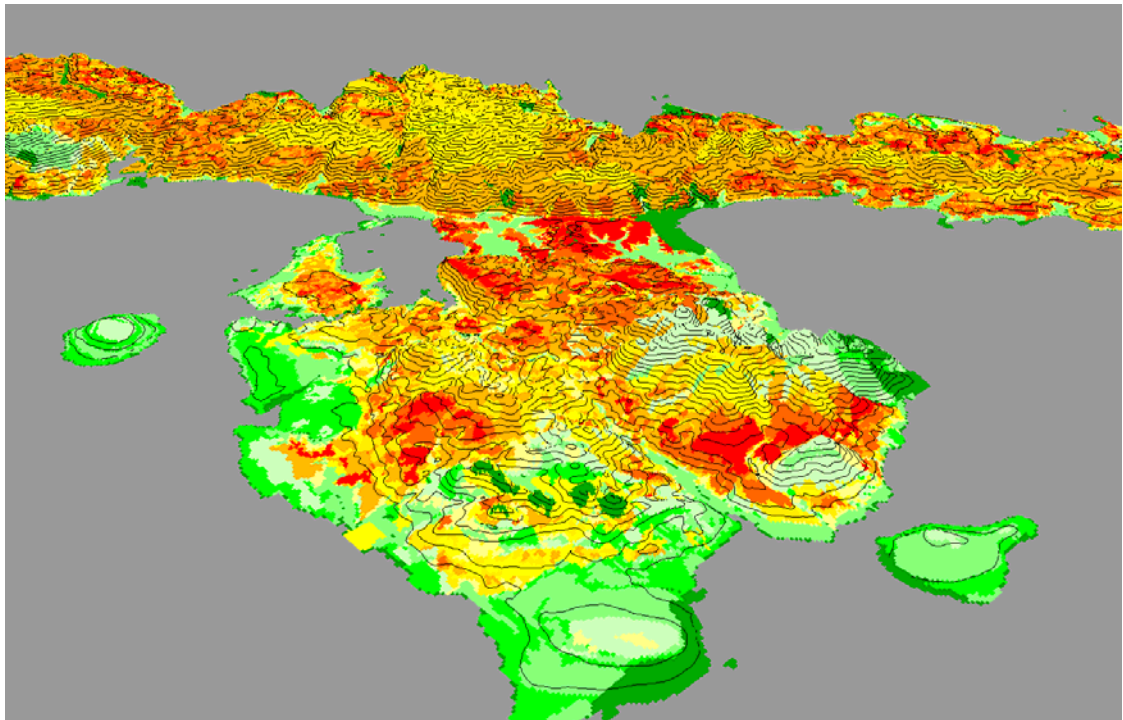


図 35 立体図（本部半島）
 Fig.35 3D map of Motobu peninsula