

持続可能な土地開発： 生物多様性・自然災害・地形の傾斜度

藤平 和俊

要旨

開発に不適な土地の開発が、環境破壊・生物多様性の喪失・気候変動・自然災害リスク増大などの問題を世界中で引き起こしてきた。このような問題を回避して持続可能な土地開発を実現するために、本研究では、地域や自治体を開発制限区域と開発許容区域に分ける方法を示す。まず、開発判断にかかわる重要な土地属性として、(1) 生物多様性、(2) 自然災害リスク、(3) 地形の傾斜度、を提示する。続いて、これら3つの土地属性のそれぞれについて、開発に不適な区域を限定する手法を図解する。第3節では、「生物多様性にとって重要なエリア」と「保全の実践」の両面から検討して、「生物多様性への貢献の大きいエリア」の限定方法を示す。第4節では、自然災害リスク削減を念頭に、予測される気候ハザードおよび地殻ハザードの危険エリアを避ける方法を概説する。第5節では、急傾斜エリアを限定するための地形傾斜度の基準を示す。その上で、第6節では、上記3種類の空間情報を地理情報システム（GIS）内で統合して開発制限区域を設定する方法を示す。

キーワード

生物多様性、自然災害リスク、地形の傾斜度、開発制限区域、GIS

《本文書について》

本稿は、英文研究著作 *Sustainable Land Development: Biodiversity, Natural Disasters, and Topographic Gradient* (査読有り) を日本語に翻訳して 2023 年 3 月に公開したものです。

【英文原著】

Fujihira K. *Sustainable Land Development: Biodiversity, Natural Disasters, and Topographic Gradient*. IntechOpen. 2023. DOI: 10.5772/intechopen.110235

【日本語訳】

藤平和俊. 持続可能な土地開発: 生物多様性・自然災害・地形の傾斜度. 環境学研究所. 2023.

1. はじめに

不適切な土地開発がさまざまな問題を世界中で引き起こしている。代表的な問題には、森林消失、環境破壊、生物多様性の喪失、気候変動、自然災害リスク増大がある。

たとえば、最近の日本でも、性急な土地開発が原因で多くの問題が発生した。2012年以降、再生可能エネルギー利用の急拡大を目指す新たな政策が、太陽光発電所の建設を全国的に加速させた [1]。それに伴って、一部では、図 1 に例示されるような問題が各地で発生した [1,2]。トラブルの発生件数は、2021 年 8 月までに報道されただけで 159 件に達した [2]。環境省によれば、主要な問題は、(1) 土砂流出とそれによる水質の悪化、(2) 土砂災害、(3) 動物・植物・生態系への悪影響、(4) 景観悪化、であった [1]。また、問題発生場所の大半は「新たに森林を切り開いたエリア」および「傾斜地」であった [1]。



兵庫県にある太陽光発電所。2018 年 7 月の西日本豪雨で崩落事故を起こした。
©日経 BP



鹿児島県にある大規模太陽光発電所。2022 年 7 月の大雨で土砂崩れを誘発した。©株式会社エフォート

図 1 森林や傾斜地を開発して建設された太陽光発電所の例

上の例が示唆するように、開発に不適な土地を開発することが問題の発生につながる。よって、そのような問題を回避して持続可能な土地開発を目指すには、開発に不適な土地を予め開発制限区域としておくことが有益である。

この点に注目して、本研究では、地域や自治体を開発制限区域と開発許容区域に分ける方法を示す。まず次節では、開発判断にかかわる重要な土地属性として、(1) 生物多様性、(2) 自然災害リスク、(3) 地形の傾斜度、を示す。これら 3 つの土地属性に関して、第 3・4・5 の各節で、開発に不適なエリアを限定する方法を図解する。その上で、第 6 節では、これら 3 種類の空間情報を GIS 内で統合して開発制限区域を設定する方法を提示する。

2. 持続可能な土地開発戦略

2.1 持続可能な都市設計指針

現在、システム制御に基づく手法で、持続可能な都市設計指針の作成を進めている。国連の「持続可能な開発目標（SDGs）」が示唆するように、持続可能性（サステナビリティ）の実現は目標志向の難題である。システム制御の科学は、あらゆる目標志向の課題に適用できる [3, 4]。また同科学は、工学をはじめとする多くの分野で目覚ましい成果を収めている。それゆえ、システム制御を応用してサステイナブル・デザインの研究を推進している [3, 4]。

図 2 に、持続可能な都市設計指針を作成する主要手順を示す。指針作りの第一歩は、都市に関係する環境・社会・経済問題の特定である。次に、特定された問題群に基づいて、持続可能な都市設計のための要求事項を認定する。続いて、認定された要求事項を設計指針へと転換する。その際、利用者が地域の地図上で効率的に空間計画や都市設計ができように配慮する。持続可能な都市設計指針は、(1) 開発制限区域/開発許容区域、(2) 都市構成要素間の空間的關係、(3) 都市構成要素の設計原則、の 3 段階で構成される [4]。

本研究は、持続可能な都市設計指針の第 1 段階に焦点を合わせる。第 1 段階は、土地開発にかかわる問題を予防・解決して、持続可能な土地開発を目指す。土地開発に関する問題群については、前節の中で例示した。また、持続可能な土地開発のための要求事項には、生物多様性や自然の保護、環境保全、自然災害危険エリアの回避、景観への配慮が含まれる。

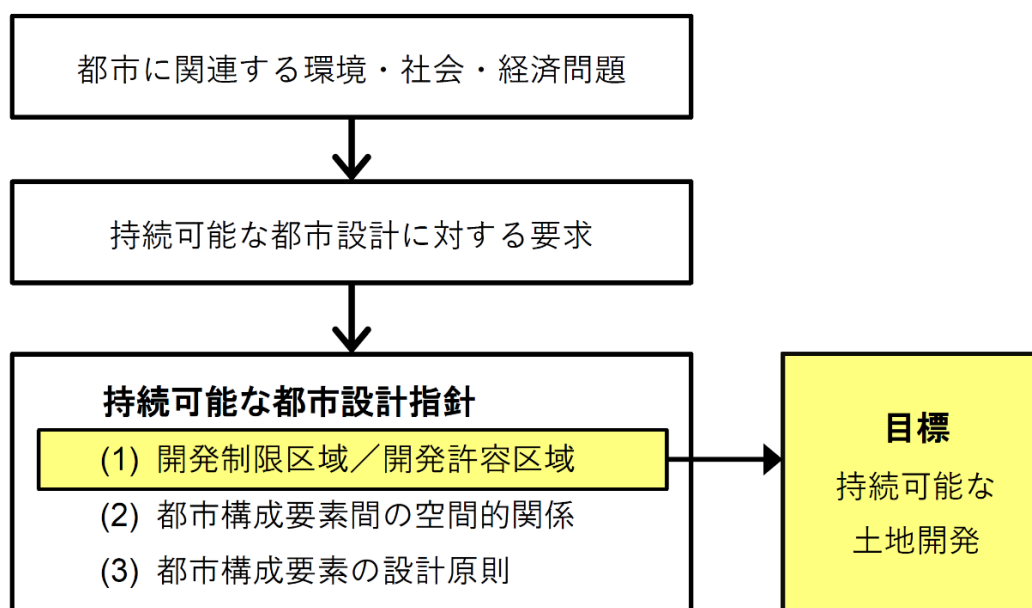


図 2 持続可能な都市設計指針の主要作成手順と第 1 段階の目標

2.2 開発判断にかかわる主要な土地属性

「開発制限区域」と「開発許容区域」を限定するために、本研究では、土地属性と開発との関係を分析する。図3の左列に示すように、開発の是非を判断するうえで重要な土地属性には、(1) 生物多様性、(2) 自然災害リスク、(3) 地形の傾斜度、がある [4]。

2.2.1 生物多様性

「生物多様性」は、自然保護や環境保全を目指すときのキーワードである [5]。生物多様性を保全する取組みは、温室効果気体の排出を抑えて気候変動の緩和にもつながる。また、生物多様性や生態系を基盤とする解決策は、気候変動による脅威から人々を守ることにも貢献する [5-7]。

2.2.2 自然災害リスク

「自然災害リスク」は、自然災害危険エリアを避けるという要求に呼応する。地球形態学的に、地球表面は地殻変動と気候によって形成される [8]。この簡潔な記述が含意するように、自然災害は地殻ハザード（地震・火山噴火など）由来と気候ハザード（洪水・干ばつなど）由来に分けられる [9, 10]。

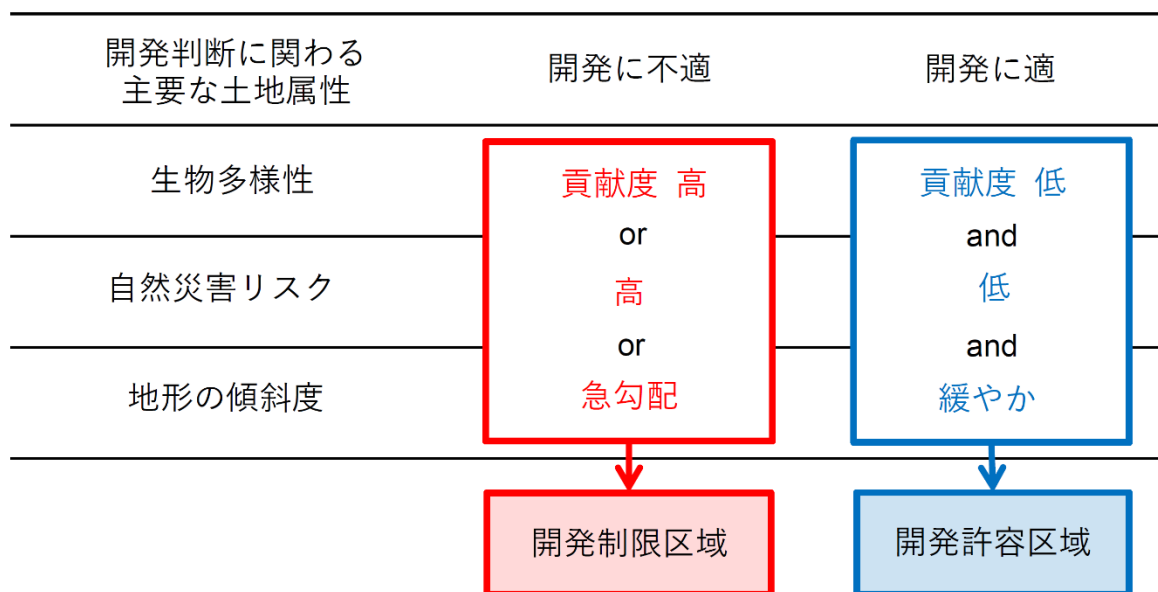


図3 開発制限区域と許容区域を区分する戦略

2.2.3 地形の傾斜度

「地形の傾斜度」は、環境保全やバリアフリー・ユニバーサルデザインなどの課題とかかわる [4]。急傾斜地の植生を除去すると、土砂流失や地滑り、流出水の増加、洪水などの問題をしばしば伴う [11-13]。また、傾斜度が大きくなるにつれて、造成・建設工事の困難度や費用は増す [12]。さらに、急傾斜地の開発はしばしば深刻な景観破壊につながるため、地形の傾斜度は「景観への配慮」とも関係する [11, 12]。

2.3 開発制限区域と許容区域

本研究では、図 3 に示す戦略に基づいて、地域や自治体を開発制限区域と許容区域に分けるための方法を示す。「開発制限区域」とは、植生除去や建設を含む土地開発を禁止すべきエリアのことである。開発制限区域は、「生物多様性への貢献の大きいエリア」「自然災害リスクの高いエリア」「急傾斜エリア」の和集合、すなわち結合体である [4]。

一方、「開発許容区域」とは、土地開発を許可しうるエリアである。開発許容区域は、「生物多様性への貢献の小さいエリア」「自然災害リスクの低いエリア」「傾斜の緩やかまたは平坦なエリア」の共通エリア、すなわち重複部分である [4]。

3. 生物多様性

地域を基盤とした保全の努力は、生物多様性の危機に対処するための基本戦略である [14, 15]。地域ベースの生物多様性保全の取組みは、図 4 の左側に示すように、「生物多様性にとって重要な地域の認定」と「保全の実践」の 2 つに分けられる [16]。今日、これらの取組みがカバーする範囲は着実に増加しているが、さらなる拡大も必要である [14, 15]。図 4 の右側には、取組みのカバー範囲についての主要な目標を示した。

3.1 生物多様性にとって重要な地域の認定

「生物多様性にとって重要な地域の認定」で最も広く公認されているのが、Key Biodiversity Areas (KBAs) である。KBAs は、陸上・淡水・海洋生態系において、地球規模の生物多様性の持続性に著しく貢献するエリアとして、国ごとに選定される [17] 【補注 1】。KBA のアプローチは、元来、「重要野鳥生息地 (Important Bird and Biodiversity Areas, IBAs)」を選定する手法を基に構築された。その後、この手法は、

より広範囲の生物分類および「絶滅ゼロ同盟（Alliance for Zero Extinction, AZE）」のような保全の取組みを包摂するようにして発展した [18]。2016 年、国際自然保護連合（IUCN）は、A Global Standard for the Identification of Key Biodiversity Areas を出版して、KBAs を認定するための世界的基準や定量的しきい値を提示した [17]。

なお、世界レベルでの重要性に加えて、国や地域レベルで生物多様性に顕著に貢献するエリアも存在するはずである。これらのエリアも重要な地域として認定される [19]。

3.2 保全の実践

地域を基盤とした保全の実践には、「保護地域（Protected areas）」と「その他の効果的な地域ベースの保全手段（Other effective area-based conservation measures, OECMs）」がある [20]。

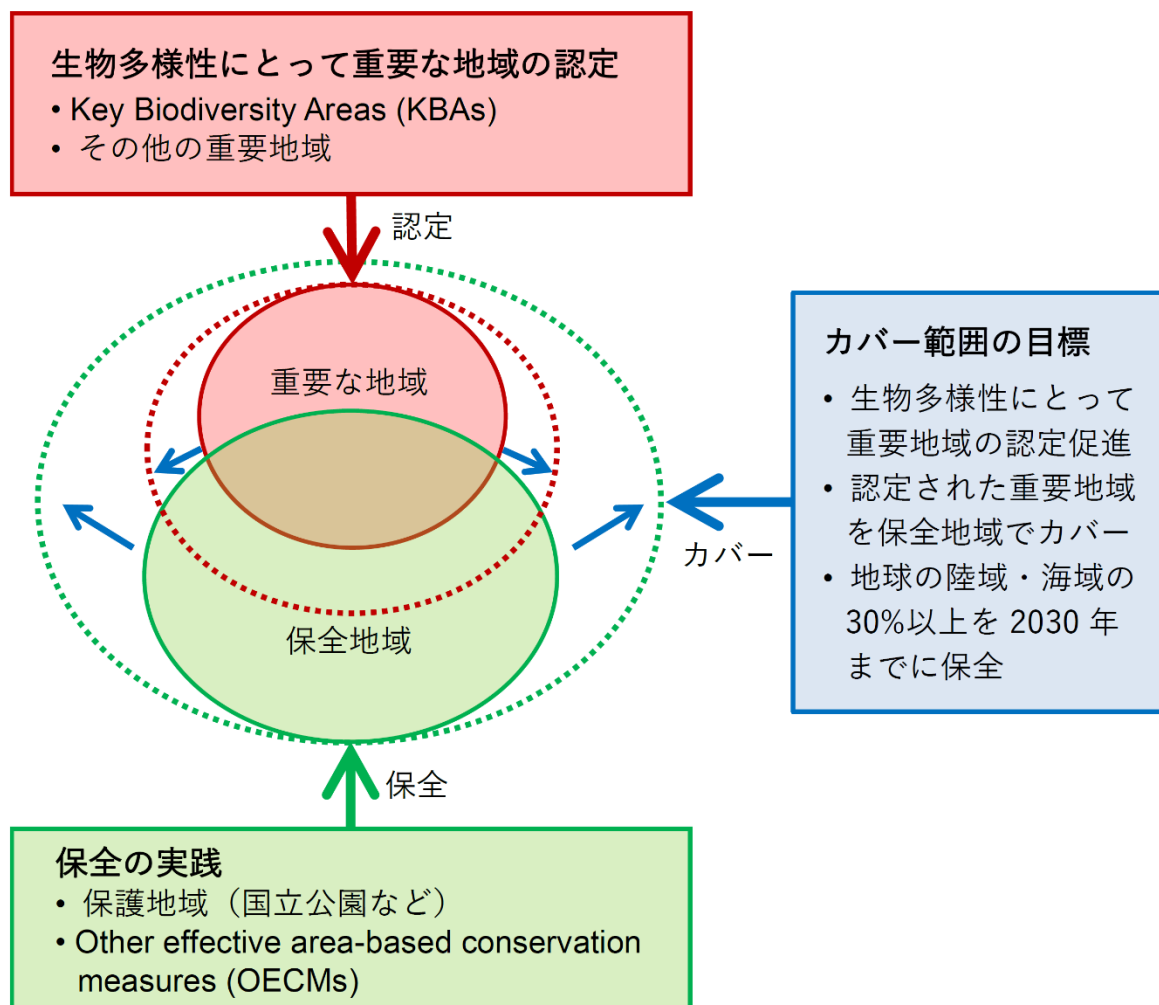


図4 今日の地域ベースの生物多様性保全の取組みとカバー範囲の目標

3.2.1 保護地域

保護地域は、国ごとの生物多様性保全戦略の根幹をなす [21]。IUCN は、保護地域を「関連する生態系サービスと文化的価値を伴う自然の長期的な保全を達成するために、法的またはその他の効果的な手段を通じて認識・専用・管理された、明確に定義される地理的空間」と定義している [21]。この定義は、次のような管理カテゴリーによって発展的に分類されている [21]。

- カテゴリー Ia：厳正保護地域
- カテゴリー Ib：原生自然地域
- カテゴリー II：国立公園
- カテゴリー III：天然記念物
- カテゴリー IV：種と生息地管理地域
- カテゴリー V：景観保護地域
- カテゴリー VI：資源保護地域

3.2.2 OECMs

OECMs は、保護地域以外で生物多様性保全に資する地域のことである [20]。OECMs の重要性が認識されるようになったのは 2010 年以降である [20]。なお、OECMs が保護地域と異なるのは、保護地域が生物多様性保全を主目的とするのに対して、OECMs では保全の目的は問われないという点である。OECMs では、主要または 2 次的な目的として保全されることもあれば、長期的な保全は単に管理活動の付随的な結果という場合もある [20]。

3.3 カバー範囲とその目標

「認定された重要地域」と「保全された地域」の面積は増加しているものの、まだ決して十分ではない。世界は、生物多様性の減少を食い止めるために、KBAs の認定や保全の実践をさらに推進する必要がある [14, 15]。

3.3.1 Key Biodiversity Areas (KBAs)

KBAs のカバー範囲は増加している。世界で 16,000 か所以上が KBAs として認定された [22]。200 か国以上が KBAs を認定しており、KBAs がカバーする面積は地球表面の約 4% を占める [18]。しかし、KBAs 認定はまだ途上過程にあり、さらに多くの国・生物分類・生態系において推進される必要がある [15, 18, 22]。

3.3.2 KBAs の保全地域によるカバー

2018 年 1 月の時点で、21%の KBAs が保護地域によって完全にカバーされた。一方で、35%の KBAs は全く保全されていない [18]。今日、KBAs 認定エリアの中で保全されているのは平均して 43.2%である [22]。よって、認定されたすべての KBAs を保護地域または OECMs でカバーすることが優先的課題となる [15, 19]。

3.3.3 保全地域の地球表面カバー率

2010 年から 2019 年の間に、世界の保護地域は、陸域において 14.1%から 15.3%に、海域では 2.9%から 7.5%に、それぞれ拡大した [14]。また、2022 年末に国連の生物多様性会議で公開された公的文書によれば、今日、地球表面上で、陸域の 17%および海域の 10%が保全された [23]。

2022 年 12 月、国連の生物多様性条約（CBD）では、新たな自然保護の計画と生物多様性枠組が合意された。この枠組では、4つの包括的ゴールおよび 2030 年に向けた 23 の目標が示された。その中でも注目を集める「目標 3」では、保全地域の顕著な増加が求められた。すなわち、「地球上の陸域・海域の 30%以上を、2030 年までに保護地域または OECMs でカバーする」ことが目標として掲げられたのである [23]。

4. 自然災害リスク

4.1 自然のハザードと災害リスク

図 5 に、「自然のハザード（natural hazards）」と「自然災害リスク（natural disaster risks）」との関係を示す。自然のハザードとは、人間や人間活動に悪影響を及ぼしうる自然現象である。自然のハザードは、「気候ハザード（climatic hazards）」と「地殻ハザード（tectonic hazards）」に分けられる [8-10]。気候ハザードは、地域が極端な気象状態のときに発生する。たとえば、集中豪雨は洪水になりうる。一方、地震や火山噴火などの地殻ハザードは、地殻構造プレートが動くことで引き起こされる。

自然災害リスクは、自然のハザードおよび人や場所のハザードへの暴露や脆弱性に関する特質との関係性によって決定される [24]。よって、自然災害リスクの大きさに影響を及ぼすのは、(1) 自然のハザードの強度、(2) ハザードへの暴露、(3) ハザードに対する脆弱性、である。図 5 の左側に示すように、今日、「気候変動の影響」が気候ハザードの強度を増大させている。

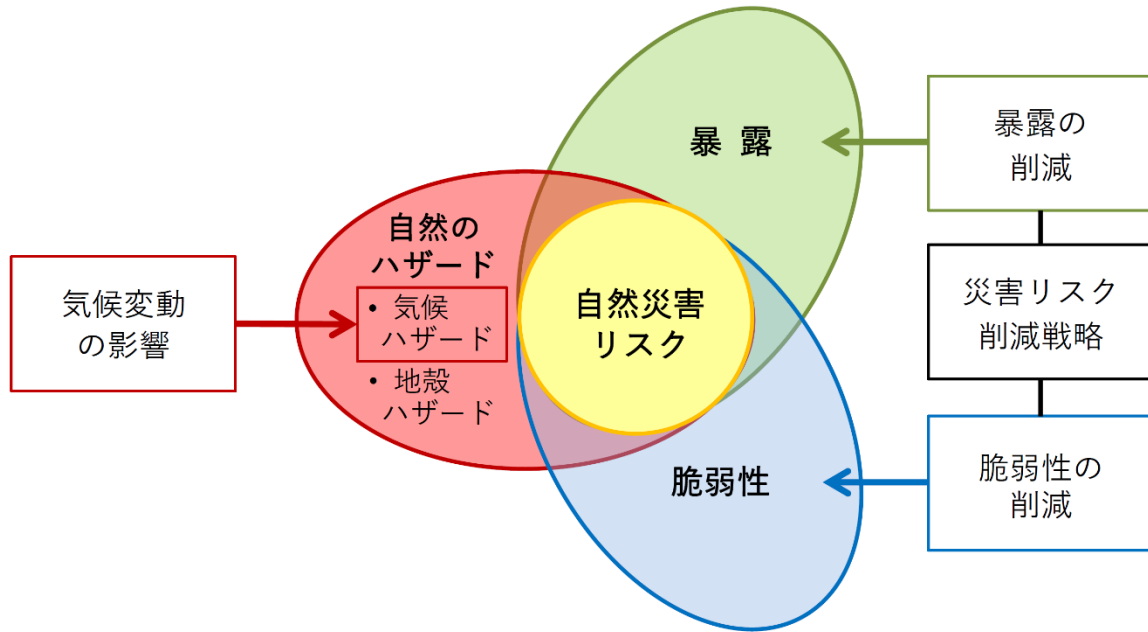


図5 自然災害リスクに影響する要因

図5の右側に示すように、自然災害リスクを削減する戦略には、「ハザードへの暴露の削減」と「ハザードに対する脆弱性の削減」がある。このうち「暴露の削減」は、とくに土地利用を検討する際に極めて重要である。理論上、もし自然ハザードの影響範囲内に人間や人間活動が存在しなければ災害は起こらない。よって、人間活動を危険エリアの外側に配置することは災害リスク削減につながる。一方、「脆弱性の削減」戦略は、構造物による方法とそれ以外の方法に分けられる。構造物による方法には、ダム、河川堤防、防潮堤、耐震構造、避難用シェルターなどがある[25]。構造物以外の方法とは、知識や実践・合意による災害リスク・影響の削減であり、啓発・訓練・教育が含まれる[25]。

4.2 気候ハザード

気候ハザードは、ある地域が極端気象下にあるときに起こる。たとえば、図6の中央に示すように、豪雨や熱帯低気圧は洪水や地滑りを発生させる[9, 26]。また、乾燥状態や熱波は干ばつや野火につながる[27]。

今日、気候ハザードの頻度や強度が増加している。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)によれば、人為的な気候変動は、すでに地球上のあらゆる地域で多くの気象・気候に影響を及ぼしている[27]。実際、1950年代以降、熱波、干ばつ、豪雨、熱帯低気圧の強度は増大している[27]。

継続する地球温暖化は、今後さらに、地球規模の水循環、湿潤と乾燥事象の強度、および地球上のモンスーン型降雨を激化させる[27]。たとえば、1850-1900年と比

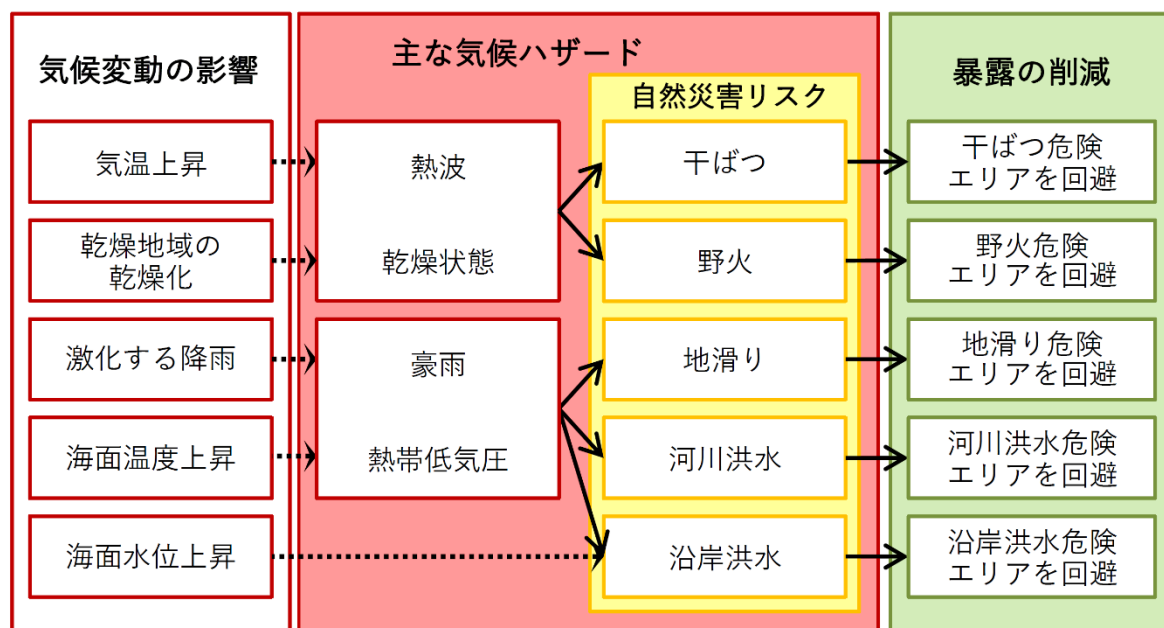


図6 主な気候ハザードによる災害リスクと危険エリアの回避

べて 2°C 上昇の地球温暖化では、豪雨とそれに伴う洪水は、太平洋諸島、北アメリカとヨーロッパの多くの地域、およびオーストラレーシア（南洋州）と中南米の一部地域で激化すると予測される [27]。さらに、地域に特有の変化の中には、熱帯低気圧の強大化と河川洪水の増加も含まれる [27]。一方、アフリカ、南アメリカ、ヨーロッパの一部地域では、干ばつの頻度・厳しさが増加すると予測される。このような増加は、オーストラレーシアや中・北米、カリブ海域諸島でも予想される [27]。温暖化と乾燥状態の増加は、野火も増やすと予測される [27]。

海面上昇も加速している。グリーンランドや南極の氷床からの氷の消失、氷河の融解、および海洋の熱膨張の度合いが増加しているためである [28]。海面上昇は 21 世紀を通じて続くとして予測される [27]。海面上昇の影響とともに、熱帯低気圧による風雨の強大化傾向が相まって、沿岸部の洪水リスクはさらに増大する [28]。

図6の右側に示すように、土地利用の検討に際しては、災害リスクを減らすために、気候ハザードへの暴露の削減が不可欠である。たとえば、河川洪水の危険エリアを避けることは、洪水被害の削減に貢献する。

4.3 地殻ハザード

図7に示すように、主な地殻ハザードに地震と火山噴火がある。津波は、主に海底地震によって発生する。津波は、水面下の火山噴火によっても起こる。また、図には含めていないが、地震と火山噴火は地滑りも誘発しうる [26]。

地震は、リソスフェア（地球表層の硬い部分）内で起こる急激なエネルギー放出

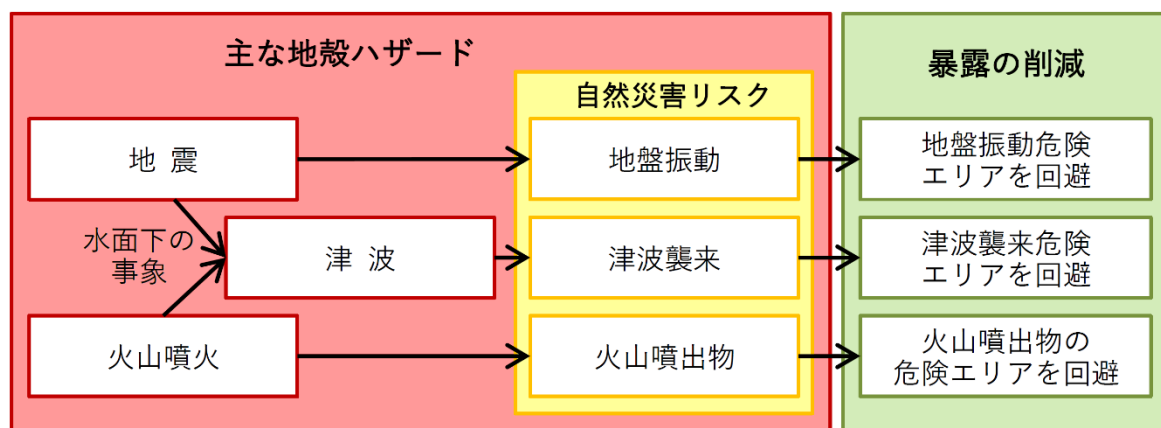


図7 主な地殻ハザードによる災害リスクと危険エリアの回避

が地震波を生じさせることで発生する。地震波が地球表面に到達するとき、地盤振動が起こる。一般的に、地盤振動の程度は、地震の規模が大きくなるにつれて増大し、震源からの距離が大きくなるにつれて小さくなる [29]。

津波は、水面下の地殻変動によって膨大な量の水が置換あるいは攪乱されることで発生する [30]。津波は、発生地点の近くだけでなく遠方にも到達して破壊を引き起こす [29]。

火山は、地殻構造プレートが衝突あるいは分岐する場所で見いだされる。火山噴火は、地球内部から高温の物質が放出されるときに発生する。このような放出物、すなわち「火山噴出物」には、溶岩、岩石、ガス化合物が含まれる [31]。

図7の右側に示すように、地殻ハザードへの暴露を削減するには、土地利用に際して、地盤振動・津波襲来・火山噴出物による危険性の高いエリアを避けることが肝要となる。たとえば津波であれば、将来の危険性を予測して、襲来リスクの高い沿岸低地を避けることが有効である。

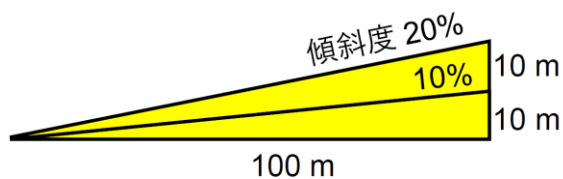
5. 地形の傾斜度

5.1 傾斜地の分類

第2.2.3節の中で概観したように、急傾斜地の開発はさまざまな問題を引き起こす。このような問題を回避するには、開発を規制するための判断基準を検討する必要がある。しかし、「急傾斜地 (steep slopes)」の一般的な定義はない [13]。一方で、世界、とくに北米では、傾斜度15%以上を急傾斜地としている自治体が多い [11, 12, 32]。たとえば、アメリカ・ニューヨーク州では、傾斜地を勾配に応じて、(1) gradual : 10%以下、(2) moderate : 10-15%、(3) steep : 15%以上、の3つに分けている自治体がある [11]。本研究では、これらの例を参考にして、傾斜地を (1) 緩やか (gradual, 0-

20% +	= 非常に急
15 - 20%	= 急
10 - 15%	= 中間的
0 - 10%	= 緩やか

(a) 傾斜地の分類



(b) 傾斜地の例：傾斜度 10%と 20%

図 8 (a) 傾斜地の分類, (b) 傾斜地の例

10%)、(2) 中間的 (moderate, 10-15%)、(3) 急 (steep, 15-20%)、(4) 非常に急 (very steep, 20%+)、の 4 つに分類する (図 8 (a))。

なお、図 8 (b)に、勾配 10%と 20%の傾斜地の例を示す。傾斜度 10%の場合、たとえば水平距離が 100m であれば垂直の高さは 10m となる。

5.2 地形の傾斜度と開発制限

傾斜地を開発することで発生する問題群は、(1) 植生除去の悪影響、(2) 整地や建設の負担、(3) 移動のしやすさ、(4) 景観、に分類できる。本節では、これら 4 つの方向から、傾斜度と開発制限との関係について検討する。

5.2.1 植生除去の悪影響

傾斜地上の植生を除去すると、土砂流出、地滑り、流出水の増加、濁水などの問題が起こりうる [11-13, 33]。これらの悪影響を最小化するには、合理的な開発制限が必要である。傾斜度 15%以上の傾斜地では常に厳しい開発規制をするとよい [34]。なお、環境的に脆弱な土地では、傾斜度 10%位から土砂流出や表面流出などの問題が増加しやすい [34]。

5.2.2 整地や建設の負担

傾斜が大きくなるにつれて、整地や建設工事の複雑さや経済的負担が大きくなる [11, 12]。たとえば、急傾斜地における道路建設は、適切な道路勾配を確保するためにより広範囲の土地や工事面積を必要とする [12]。図 9 に示すように、急傾斜地では土留めのための擁壁がしばしば必要となる。また、下水処理や給水設備はとりわけ困難度と費用が増す [11]。

とくに勾配が 15%を超えると、建設コストは急増する [35]。より深い掘削、多量のコンクリート、高い擁壁、特別な排水・下水処理が必要になるためである [35]。



図 9 東京都郊外の急傾斜地に建設された住宅団地

5.2.3 移動のしやすさ

傾斜度が大きくなるにつれて、バリアフリーやユニバーサルデザインを取り入れることは難しくなる。図 9 に示すように、急傾斜地を開発したエリアでは、急勾配の道路や長い階段が生じやすい。このような開発地は、とりわけ身体の不自由な人々に移動の困難さをもたらす。

なお、近年の日本では、傾斜地居住者の高齢化に伴って、移動の問題が顕在化してきている。たとえば、かつて大都市郊外の丘陵地に開発された多くの住宅団地では、急傾斜の道や長い階段が高齢者の身体的・社会的活動を制限するようになっていく [36]。

住宅地開発と移動性に関する研究によれば、宅地開発用の土地の傾斜は最大でも 20%としている [37]。なお、歩行者の移動性を考慮する場合の最大傾斜度は 10%としている [37]。10%という数値は、ベビーカーや路面電車の利用にも適合するものとして、ますます重要性を増してきている [37]。

5.2.4 景観

急傾斜地は、丘や溪谷において重要な景観要素となっていることが多い。よって、傾斜の大きい土地を開発することは、しばしば自然的景観の深刻な破壊につながる [11, 12]。

一般的に、土地の傾斜度が大きくなるにつれて、開発による景観の変化は人々の目に入りやすくなる。よって、丘や山の斜面が提供する自然の景観を維持するには、開発や建設を規制する必要がある。たとえば、オーストラリアのヴィクトリア州では、傾斜度が 10%を超えると、開発に際しての景観への配慮をとくに厳しくしてい

る自治体がある [38]。また、傾斜度 20%以上では、開発自体を厳しく制限している [38]。

以上をまとめると、一般的に傾斜度 15%を超える急傾斜地では開発制限が必要であり、とくに勾配 20%以上の非常に急な傾斜地では、開発自体を厳しく規制すべきといえる。また、環境的に脆弱な地域や、移動性や景観に配慮する場合は、傾斜度 10%から開発を制限すべきといえる。

6. 統合：開発制限区域の設定

第3節から5節では、「生物多様性への貢献の大きいエリア」「自然災害リスクの高いエリア」「急傾斜エリア」の範囲を限定する方法をそれぞれ図解した。以上の準備に基づいて、本節では、これら3種類の地理情報を統合して開発制限区域の輪郭を描く手法を提示する。なお、今日、空間情報を扱う際には「地理情報システム (GIS)」を用いることが一般化してきている。よって、以下では GIS の活用を前提として記述を進める。

図 10 に、GIS 内で3種類の空間情報を統合して開発制限区域を設定する手順の例を示す。図の左側には、ハザードマップや該当するエリアなど必要な空間情報を記載している。一方、右側には、準備されたデータレイヤーの重ね合わせと統合を示している。

「地形の傾斜度」については、当該の地域または自治体領域に関して、急傾斜区域を限定できる地図レイヤーを準備する。その際、「緩やか (gradual, 0-10%)」「中間的 (moderate, 10-15%)」「急 (steep, 15-20%)」「非常に急 (very steep, 20%+)」といった具合に、傾斜度をレベル別に色分けして表示すると便利である。図 8 (a) に示したのは、そのような色分けの一例である。

「自然災害リスク」については、自然のハザードの種類別にデータレイヤーを作成する。図 10 の例では、「河川洪水」と「地滑り」という2つのハザードが想定されている。そこで、河川洪水ハイリスクエリアと地滑りハイリスクエリアを限定できるデータレイヤーを作成する。もし信頼できるハザードマップが公開されていれば、これらを活用できる。

「生物多様性への貢献の大きいエリア」に関するデータを扱う際には、「重要な地域」と「保全の実践」に分けて表示する。この分類は、図 4 左側に示した区分に基づいている。「重要な地域」のデータレイヤーには、KBAs のような生物多様性にとって重要として認定されたエリアを表示する。一方、「保全の実践」データレイヤーには、保全地域、すなわち保護地域と OECMs を表示する。

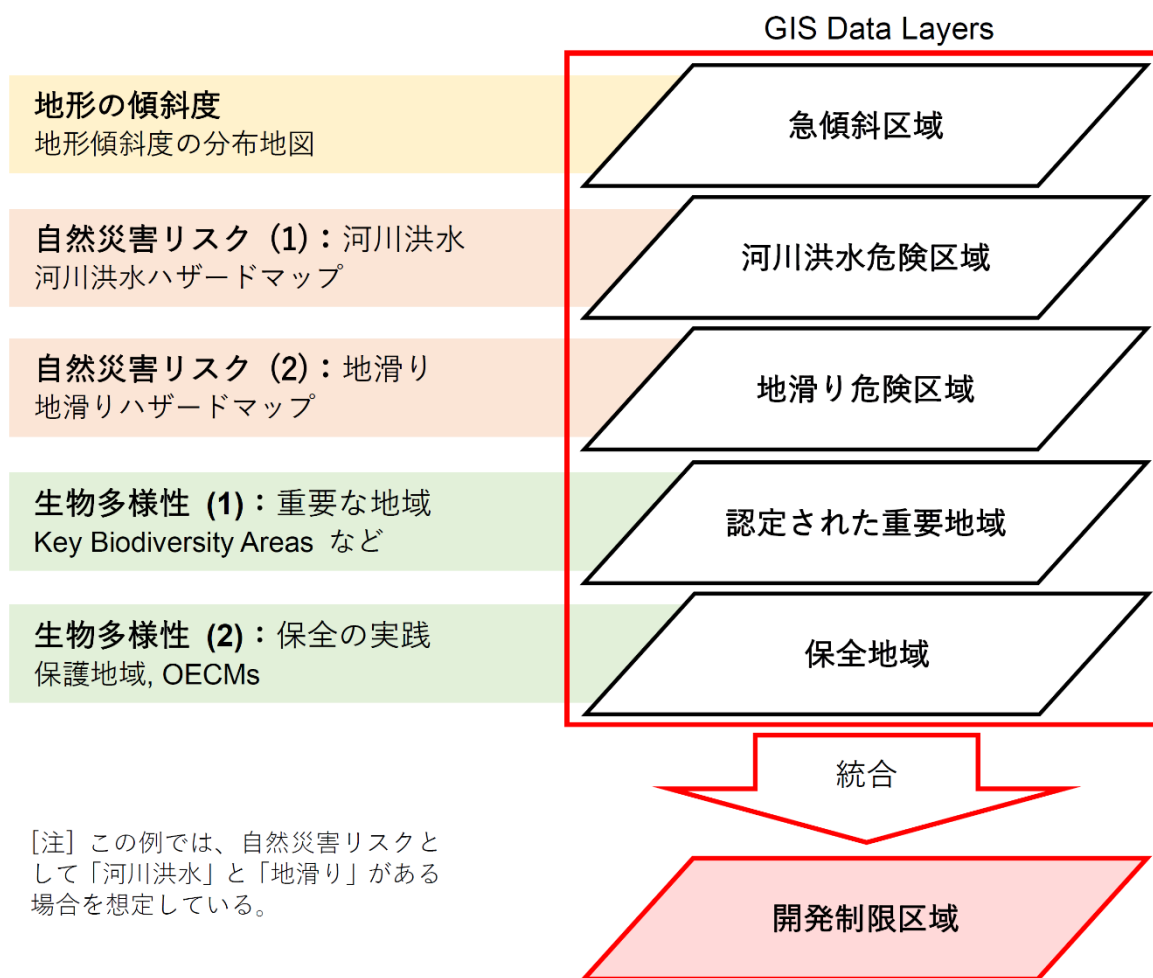


図 10 開発制限区域の設定：GIS を用いた統合の例

それぞれの GIS データレイヤーが準備できれば、これらを重ね合わせて空間情報を統合する。この場合、各データレイヤーに表示された当該エリアの和集合、すなわち結合体が開発制限区域に相当する。

本節の最後に、開発制限区域と保全のカバー範囲にかかわる 2 つの目標とを比較する。2 つの目標とは、第 3.3.2 および 3.3.3 節の中で記した「認定された重要地域を保全地域でカバー」と「地球上の陸域・海域の 30%以上を 2030 年までに保全」である。まず、データレイヤーの統合過程で、KBAs のような重要地域は開発制限区域に取り込まれる。よって、もし開発制限区域に保全の地位が与えられれば、「重要な地域」も自ずと保全の状態になる。一方、開発制限区域の中には、生物多様性への貢献の大きいエリアに加えて、「自然災害リスクの高いエリア」と「急傾斜区域」も含まれる。そのため、開発制限区域が実際に保全されれば、保全地域が地球表面上に占める比率は大幅に拡大するに違いない。要するに、「開発制限区域」の設定は、保全にかかわる 2 つの目標達成に大いに貢献する。

7. 結論

持続可能な土地開発を目指して、本稿では、地域や自治体を開発制限区域と開発許容区域に分けるための方法を示した。まず第2節では、開発判断に密接にかかわる重要な土地属性として「生物多様性」「自然災害リスク」「地形の傾斜度」を提示した。これに続く3つの各節では、これら3つの土地属性について、開発に適さない区域を限定する方法を示した。最後に第6節では、これら3種類の空間情報をGIS内で統合して開発制限区域を設定する方法を説明した。

第2節では、システム制御のアプローチに基づいて、持続可能な土地開発のための指針を作成する手順を図解した。さまざまな土地開発関連問題に包括的に対処するために、この節では上記3つの重要な土地属性を特定した。その上で、図3に示したように、開発制限区域と許容区域を限定するための戦略を提示した。なお、開発制限区域は、(1) 生物多様性への貢献の大きいエリア、(2) 自然災害リスクの高いエリア、(3) 急傾斜区域、の結合体に相当する。

第3節では、今日の地域ベースの生物多様性保全策の全体像を示した。図4には、生物多様性への貢献の大きいエリアを、「生物多様性にとって重要な地域」と「保全地域」に分けて簡潔に図解した。同図ではさらに、これら地域ベースの生物多様性保全策がカバーすべき範囲について主要な目標も提示した。

第4節では、地域に基づく自然災害リスク削減策の全貌を、3枚の図を用いて示した。図5には、自然のハザードを「気候」と「地殻変動」関連に分けた上で、災害リスクとの関係を簡潔に示した。図6では、主要な気候ハザードの危険エリアを避ける方法を、気候変動の影響も考慮して図解した。一方、図7には、主な地殻ハザードの危険エリアを回避する方法を示した。

第5節では、開発判断の基準となる地形の傾斜度について検討した。まず、傾斜地を勾配の程度に応じて「緩やか」や「急」など4段階に分類した。次いで、傾斜度と開発制限との関係を、(1) 植生除去の悪影響、(2) 整地や建設の負担、(3) 移動のしやすさ、(4) 景観、という4つの方向から考察した。

最後に、第6節内の図10では、必要なGISデータレイヤーを作成して統合する手順を図解した。データレイヤーに表示されるエリアは、急傾斜区域、予測されるハザードのハイリスク区域、生物多様性にとって重要として認定された地域、および保全地域である。上記エリアの和集合（結合体）が開発制限区域に相当する。なお、開発制限区域に保全の地位を与えることは、さまざまな土地開発問題を回避しつつ、世界が保全地域カバー範囲の目標を達成する上でも大きく貢献する。

次の課題は、この手法に基づくケース・スタディーである。このような実践的な研究を通して、この手法の精度を高めるとともに、持続可能な土地開発に寄与することを目指している。

【補注】

[1] 日本における Key Biodiversity Areas (KBAs) の認定について

日本では、現在、鳥類・哺乳類・爬虫類・両生類・魚類・トンボ類から 100 種以上の対象種が選定され、これらが生息する 232 カ所が KBAs として選ばれている。

KBAs の選定基準の基礎は、国際 NGO のバードライフ・インターナショナルが 1980 年代から取り組んできた「重要野鳥生息地 (Important Bird and Biodiversity Areas, IBAs)」にある。日本では、「日本野鳥の会」が IBAs を選定している。この IBAs に鳥類以外の分類群も含めて発展したのが KBAs である。そのため、国内の IBAs はすべて KBAs に含まれている。

《上記に関する参考資料》

- (1) コンサベーション・インターナショナル・ジャパン. KBA - Key Biodiversity Area: 私たちが残したい未来の自然. 2011. <http://kba.conservation.or.jp/>
- (2) 日本野鳥の会. 重要野鳥生息地 (IBA) の保全－IBA とは？
<https://www.wbsj.org/activity/conservation/habitat-conservation/iba/iba-whatis/>

参考文献

- [1] 環境省. 太陽光発電施設等に係る環境影響評価の基本的考え方に関する検討会報告書. 2019. <https://www.env.go.jp/content/900513059.pdf> [アクセス: 2022-11-29]
- [2] 山下紀明・丸山康司. 太陽光発電の地域トラブルと自治体の対応. 丸山康司・西城戸誠編『どうすればエネルギー変換はうまくいくのか』新泉社. 2022. P. 24-47
- [3] Fujihira K. Basic schemes: Preparations for applying control science to sustainable design. In: Fujihira K, editor. Sustainable Home Design by Applying Control Science. Rijeka: IntechOpen; 2017. DOI: 10.5772/intechopen.71325. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/57401>
- [4] Fujihira K. How to design sustainable structures. In: Sarvajayakesavalu S, Charoensudjai P, editors. Environmental Issues and Sustainable Development. London: IntechOpen; 2021. p. 277-297. DOI: 10.5772/intechopen.95012. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/74360>
- [5] European Commission. Biodiversity and Nature-based solutions: Analysis of EU-funded projects. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2020. 48 p. DOI: 10.2777/183298
- [6] The Royal Society. Climate change and biodiversity: Interlinkages and policy options. 2021. Available from: <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/biodiversity-climate-change-interlinkages/> [Accessed: 2022-12-3]
- [7] Cohen-Shacham E, Walters G, Janzen C, Maginnis S, editors. Nature-based Solutions to Address Global Societal Challenges. Gland, Switzerland: IUCN; 2016. xiii + 97p. DOI: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>

- [8] Whittaker A. C. How do landscapes record tectonics and climate?. *Lithosphere*. 2012; 4 (2): 160-164. DOI: 10.1130/RFL003.1
- [9] NASA Solid Earth Science Working Group. How do tectonics and climate interact to shape the earth's surface and create natural hazards?. 2021. <https://solidearth.jpl.nasa.gov/PAGES/tect01.html> [Accessed: 2022-12-04]
- [10] BBC. Natural hazards. 2022. Available from: <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zxh4wxs/revision/1> [Accessed: 2022-12-03]
- [11] Southern Tier Central Regional Planning and Development Board. Steep Slopes and Land Use Decisions. 2012. Available from: https://www.stcplanning.org/wp-content/uploads/2020/09/SteepSlopes_LandUse.pdf [Accessed: 2022-12-26]
- [12] Lehigh Valley Planning Commission. Steep Slopes: Guide, Model Regulations. 2008. Available from: <https://www.lvpc.org/pdf/SteepSlopes.pdf> [Accessed: 2022-12-26]
- [13] Land-of-Sky Regional Council. Mountain Ridge and Steep Slope Protection Strategies. Asheville: Land-of-Sky Regional Council; 2008. 76 p.
- [14] Maxwell S. E, et al. Area-based conservation in the twenty-first century. *Nature*. 2020; 586: 217-227. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2773-z>
- [15] Kullberg P, Minin E. D, Moilanen A. Using key biodiversity areas to guide effective expansion of the global protected area network. *Global Ecology and Conservation*. Volume 20, October 2019, e00768. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00768>
- [16] UNEP-WCMC. Biodiversity A-Z, Areas of biodiversity importance. 2020. Available from: https://www.biodiversitya-z.org/themes/areas?category_id=23 [Accessed: 2022-12-26]
- [17] IUCN. A Global Standard for the Identification of Key Biodiversity Areas, Version 1.0. First edition. Gland, Switzerland: IUCN; 2016. 46 p.
- [18] UNEP-WCMC. Biodiversity A-Z, Key Biodiversity Areas (KBA). 2020. Available from: <https://www.biodiversitya-z.org/content/key-biodiversity-areas-kba> [Accessed: 2022-12-26]
- [19] Langhammer P. F, et al. Identification and Gap Analysis of Key Biodiversity Areas: Targets for Comprehensive Protected Area Systems. Gland, Switzerland: IUCN; 2007. xiv + 116 p.
- [20] IUCN-WCPA Task Force on OECMs. Recognising and reporting other effective area-based conservation measures. Gland, Switzerland: IUCN; 2019. x + 22 p.
- [21] Dudley N, editor. Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. Gland, Switzerland: IUCN; 2008. x + 86 p.
- [22] KBA Partnership. KBA Programme Annual Report 2021. 2022. 26 p.
- [23] UN Convention on Biological Diversity. COP15: Nations adopt four goals, 23 targets for 2030 in landmark UN Biodiversity Agreement. 2022. Available from: <https://www.cbd.int/article/cop15-cbd-press-release-final-19dec2022> [Accessed: 2022-12-20]
- [24] UNDRR. Understanding disaster risk. 2022. Available from: <https://www.preventionweb.net/understanding-disaster-risk/component-risk/disaster-risk> [Accessed: 2022-12-04]

- [25] UNDRR. Structural and non-structural measures. Available from: <https://www.undrr.org/terminology/structural-and-non-structural-measures> [Accessed: 2022-12-23]
- [26] United States Government Geological Survey. What is a landslide and what causes one?. 2021. <https://www.usgs.gov/faqs/what-landslide-and-what-causes-one> [Accessed: 2022-12-23]
- [27] IPCC. Summary for Policymakers. In: Masson-Delmotte V, et al., editors. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press; 2021. p. 3-32. DOI: 10.1017/9781009157896.001
- [28] IPCC. Summary for Policymakers. In: Pörtner H. O, et al., editors. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Cambridge and New York: Cambridge University Press; 2019. p.3-35. DOI: 10.1017/9781009157964.001
- [29] U.S. Geological Survey. What are the effects of earthquakes?. <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/what-are-effects-earthquakes> [Accessed: 2022-12-23]
- [30] Haugen K, Lovholt F, Harbitz C. Fundamental mechanisms for tsunami generation by submarine mass flows in idealised geometries. Marine and Petroleum Geology. 2005;22(1-2):209-217. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2004.10.016
- [31] Dunkley PN, Young SR. Volcanic hazard mapping for development planning. Nottingham: British Geological Survey; 2000. 163 p.
- [32] Pennsylvania Land Trust Association (WeConservePA). Steep Slope Ordinance. 2019. Available from: <https://conservationtools.org/guides/59> [Accessed: 2022-12-28]
- [33] US Department of Housing and Urban Development. HUD Exchange Environmental Assessment Guide: Land Development - Slope. 2022. Available from: <https://www.hudexchange.info/programs/environmental-review/environmental-assessment/guide/land-development/slope/> [Accessed: 2022-12-28]
- [34] Randolph Township, New Jersey. Land Development Code: 15-44.1. Available from: https://library.municode.com/nj/randolph_township/codes/land_development_code?nodeId=LAND_DEVELOPMENT_CODE_ARTIVSUZORE_15-44REDEWISTSLAR_15-44.1PUFIFA [Accessed: 2022-12-29]
- [35] Legal Eagle Contractors. What are the problems of building a house on sloped land?. <https://legaleaglecontractors.com/building-house-on-slope-challenges/> [Accessed: 2022-12-26]
- [36] 全聖民・大原一興・李鎔根・藤岡泰寛. 丘陵住宅地における高齢者の社会活動と環境条件に関する研究：K市I住宅団地における地域資源活用と高齢者の社会活動. 日本建築学会計画系論文集. 2016; 81 (726): 1621-1629. DOI: 10.3130/aija.81.1621
- [37] Abbott D, Pollit K. Hill Housing: A Comparative Study. London and New York: Granada; 1980. 308 p.
- [38] Urban Design & Management Pty Ltd. Guidelines for Slope Management in Subdivisions: Cardinia Shire Council – Pakenham East Precinct Structure Plan. 2017. Available from: <https://vdocument.in/guidelines-for-slope-management-in-subdivisions-guidelines-for-slope-management.html?page=1> [Accessed: 2022-12-31]