

Ⅱ-1 リスクインベントリの改善

執筆担当

リスクインベントリ作成チーム

独立行政法人国立環境研究所	横畠徳太
独立行政法人国立環境研究所	仁科一哉
東京大学 生産技術研究所	木口雅司
東京工業大学 大学院理工学研究科	井芹慶彦
大学共同利用機関法人 国立極地研究所	末吉哲雄
北海道大学 大学院地球環境科学研究院	吉森正和
東京大学 大気海洋研究所	山本彬友
筑波大学 体育系	本田靖
独立行政法人国立環境研究所	花崎直太
独立行政法人国立環境研究所	伊藤昭彦
独立行政法人国立環境研究所	眞崎良光
北海道大学 大学院地球環境科学研究院	重光雅仁
独立行政法人農業環境技術研究所	飯泉仁之直
独立行政法人農業環境技術研究所	櫻井玄
独立行政法人農業環境技術研究所	岡田将誌
株式会社野村総合研究所	岩瀬健太
独立行政法人国立環境研究所	高橋潔
独立行政法人国立環境研究所	江守正多
東京大学 生産技術研究所	沖大幹

II-1-i リスクインベントリとは

気候変動が人間や生態系に及ぼす影響の性質は様々である。人間や生態系にとって好ましくない悪影響（被害）をもたらす一方で、時期や場所によっては、好影響（利益）をもたらすこともある。これまでも述べたとおり、IC-RUS では、利用可能なあらゆる科学的知見を利用することで、気候変動が引き起こすリスク（もたらされる被害や利益）を網羅的に明らかにし、地球規模の気候変動リスク管理の構築に貢献することが、重要なひとつの目標である。このための活動が「リスクインベントリ」の作成であり、プロジェクトの開始から改良を進めている。「インベントリ」とは、「目録」を意味し、例えば温室効果ガスの排出量のすべてを排出起源別にまとめた「温室効果ガスインベントリ」などが、これまでに作成されている（<http://www-gio.nies.go.jp/index-j.html>）。私たちは全球規模の気候変動によって地球上で生じるあらゆるリスクをリストアップし、データベースを作成することを目標とした活動を行ってきた。気候変動によって生じる影響は様々な部門にわたり、その時空間スケールも様々であるが、それらは互いに密接に関連している。このため、気候変動によって生じるリスクを、ある特定の地域においてだけでなく、全球規模で評価することが重要であると私たちは考えている。これまでの研究では、ある特定の国において生じる気候変動リスクについては、様々な形でまとめられてきた（例えば 英国気候変動リスク評価、UKCCRA 2012 など）。この一方で、気候変動によって生じると考えられるリスクについての最新の知見は、IPCC 第5次評価報告書にまとめられているが、基本的には部門ごとにまとめられており、様々な部門にわたるリスクの全体像や、部門の間のリスクの関係性が、必ずしも分かりやすくまとまっているとは言えない。

昨年までの活動では、まず、気候変動によって生じる全てのリスクを網羅するために、リスクの分類を行ったことである。社会にある様々な価値観を考慮して、社会が「被害を避けたい」と望む対象ごとに、気候変動影響の整理を行った。気候変動によって生じる被害を、人間の生活・生態系・地球システムの3つに分類し、それぞれにおいてさらに詳細に分類を行い、起こりえる全ての被害を網羅する形で、リストの作成を行った（概要版は ICA-RUS REPORT 2013、詳細版は

http://www.nies.go.jp/ica-rus/inventory/risk_inventory_20130319.pdf 参照）。これは、ICA-RUS に参画する幅広い分野の研究者が、最新の知見のサーベイなどを行うことにより、気候変動によって生じるリスクをリスト化したものである。これにより、気候変動によって影響を受ける部門と個別の被害に関する全体像を明らかにすることができた。その一方で、気候変動リスク管理に役立つための有用な情報にするために、様々な課題が浮かび上がってきた。大きな課題の一つが、複雑なリスクの因果関係が、ICA-RUS REPORT 2013 のリスクインベントリ表では、十分に表し切れないという点である。前述した通り、気候変動が引き起こす、ある部門でのリスクは、他の部門におけるリスクに様々な影響を与える。例えば他節（「II-4 土地・水・生態系等の相互作用」など）でも解説してある通り、水・エネルギー・食料に関連する人間活動と自然環境は密接につながっており、気候変動によって大きな影響を受ける可能性がある。全球規模の気候変動リスク管理のためには、このようなリスクの「連鎖」まで含めたリスクの全体像を明らかにする必要がある。しかし昨年までの私たちの活動では、様々な現象の間の因果関係、また様々なリスクの間の関係に関しては、ごく一部しか表現することができなかった。また、昨年までの活動で浮かび上がったもう一つの大きな課題は、各々のリスクの特徴を評価する必要性である。これまで私たちが作成したリスクインベントリでは、影響の大きさ（影響を受ける主体の数や、影響を受ける期間や地域など）や生起可能性などが異なる様々なリスク項目が、並列で並べられている。どのようなリスクを受け入れ、また回避するかのリスク判断・リスク管理を行うためには、各々のリスクの特徴を明らかにすることが非常に重要である。

このため今年度は、リスク連鎖の評価を行うことで、リスクインベントリを大幅に改良した。具体的には、気候変動によって生じる様々な現象の間の因果関係を整理することで、異なるリスクのつながりについて調べた。さらに、これまでに作成したようなリストの形式だけでなく、リスクの「ネットワーク図」（図 II-1-1 から図 II-1-8）を作成することで、これまでにない分かりやすい形で、気候変動リスクの連鎖を表現することができた（ii 節）。そして、来年度以降の課題について検討し、リスク管理を行う上で必要だと考えられる、リスク項目を様々な要素によって特徴づける方法について議論を行った（II-1-iii 節）。

II-1- ii リスク連鎖の評価

(1) 取り扱うリスクの範囲

私たちがリスクインベントリで取り扱う範囲としては、基本的には、将来の気候変動に対して社会が特別な対策を行わず、現在の温室効果ガス排出や社会経済の傾向がこのまま続いた場合のリスクを考えることとした。今後、気候変動リスク管理のためにどのような気候対策をとるかを評価する上で、このような「対策なし」の場合に生じるリスク評価を行うことは非常に重要である。一般に気候変動対策としては、温室効果ガスの排出を削減する「緩和策」と、発生した気候変動の様々な影響に対策を行う「適応策」があり、そのどちらを行う場合にも、何らかのリスクが発生する可能性がある。ICA-RUS では別途、気候変動対策オプションの包括的なリスト、また対策によって生じるリスクをまとめた「対策インベントリ」の作成を行っているため、ここでは気候変動対策を行わなかった場合に生じるリスクのみを考慮する。

また、昨年までの活動では、気候変動によって生じる可能性のある被害や利益を「リスク」と定義し（ICA-RUS REPORT 2013）、このうち特に「被害」にあたる現象だけを抽出したが、今回は「利益」も項目に含めることにした。これにより、リスクの全体像をより包括的に表現することが可能になった。

さらに、ここでは人為起源の気候変動に関わる現象の因果関係を取り扱い、人為起源の気候変動としては、人間による温室効果ガスの排出によって生じる気候システムの変化を考える。このため、様々な被害と利益を引き起こす原因としての、気候システムの様々な変化についても、幅広く考慮することとした。

(2) リスクのカテゴリ分け

リスクのカテゴリ分けに関しては、昨年までの分類を少し整理して、1：健康、2：災害、3：水資源、4：エネルギー、5：食料、6：産業、7：社会、8：生態系、9：地球科学的臨界現象。1：「健康」では人間の健康に関わる現象を取り扱い、2：「災害」では災害に関わる現象や人間の生死に関わる現象を扱う。3：「水資源」4：「エネルギー」5：「食料」では、人間にとって不可欠である水・エネルギー・食料の入手可能性や供給に関わる現象を扱う。本来「水資源」「エネルギー」「食料」は6：「産業」の中の一部門でもあるが、気候変動がもたらす影響として重要であるため（II-3 土地・水・生態系等の相互作用）、「産業」の中から分離した。このため6：「産業」では、水・エネルギー・食料以外の産業への影響を取り扱う。7：「社会」では、気候安全保障や文化に与える影響を取り扱う。8：「生態系」では、陸域および海洋の生態系において生じる気候変動の影響を取り扱う。海洋における現象はすべて「海洋～」と表示した。上記1～8までのカテゴリでは、基本的に気候変動問題で取り扱う時間スケール、100年程度の時間で生じる被害と利益を扱う。この一方で、9：「地球科学的臨界現象」では、気候変動が進行してある「臨界点」を超えてしまった後の状態、地球システムに急激な変化が引き起こされてしまった後の状態を取り扱う。結果として大惨事を引き起こす可能性があるよう気候変動の要素（ティッピングエレメント、ICA-RUS REPORT 2013 参照）に相当する。

(3) リスク項目の抽出

前年に引き続き、ICA-RUS に参画する健康・水資源・作物・経済・生態系・気候・地球システムに関する分野の専門家によって、出版された論文、IPCC 第4次・第5次評価報告書をもとに、まずはリスク項目の抽出を行った。私たちが抽出した気候変動リスクの項目を、表 II-1-1 に示す。ここでは、気候変動によって引き起こされる被害や利益についての因果関係を記述するために、気候システムの様々な変化を「気候」というカテゴリにまとめてある（気候システムの変化そのものをリスクと見なししているわけではなく、因果関係をまとめるための必要性から、表 II-1-1 へ載せた）。すべての項目は、温室効果ガス濃度の増加や気候変動に伴って起こる「現象の変化」を表す形で統一されている。変化の仕方が明らかな場合には、「増加」「減少」「悪化」「向上」などの形で、変化の方向を明示するように記述した。これにより、個別の影響が被害と利益のどちらになるかを、明確に示すことができる。「大気大循環の変化」「食料貿易の変化」など、変化の仕方が複雑な（空間パターン・分布などが変わる）場合には「変化」の形で表現した。個別具体的な細かい現象は、できるだけまとめて表現することにより、リスクの項目の数が多くなり過ぎないように注意した。また、各々のリスク項目の間で、内容的な重複がなくなるようにも気をつけた。このような作業は、後述するネットワーク図の作成を行う上でも、非

常に重要な作業である。表 II-1-1 のリスク項目データは、数多くの専門家によって作成されたため、初期バージョンでは記述の仕方が統一されておらず、項目間での内容的な重複も多かったが、様々な調整を行い表 II-1-1 の形にまとめた。現在では表 II-1-1 にあるように、気候システムの変化と気候変動リスク項目を合わせて 130 の項目が挙げられている。

表 II-1-1 気候システムの変化（カテゴリ＝「気候」と、気候変動によって人間社会や生態系に生じる様々な被害や利益（カテゴリ＝「安全」「健康」「水資源」「エネルギー」「食料」「産業」「産業」「社会」「生態系」「地球科学的臨界現象」）の一覧

気候	温室効果ガス濃度の増加	エネルギー	水力発電効率の低下
	温室効果ガス濃度の減少		水力発電効率の上昇
	気温の上昇		火力発電効率の低下
	降水量の減少		原子力発電効率の低下
	降水量の増加		風力発電効率の低下
	大気循環の変化		冷房需要の増加
	季節サイクルの変化		暖房需要の減少
	雪氷の融解		エネルギー需要の増加
	凍土の融解		エネルギー価格の上昇
	猛暑の増加		エネルギー供給の不安定化
	海水温の上昇		エネルギー安全保障の悪化
	海面水位の上昇		
	海洋循環の変化		
災害	強風の激化	食料	作物生産量の減少
	豪雨の増加		作物生産量の増加
	熱帯低気圧の強化		作物品質の悪化
	高潮の強化		牧草生産量の減少
	洪水の増加		家畜生産量の減少
	土砂災害の増加		家畜生産量の増加
	海難事故の増加		病害の増加
	家屋被害の増加		農地の被害
健康	熱中症や熱関連死亡の増加	産業	漁獲量の減少
	寒冷関連死亡の減少		漁獲量の増加
	PTSDなどの精神疾患の増悪		肥料利用の増加
	下痢の増加		食料貿易の変化
	呼吸器疾患の増加		食料流通の変化
	低栄養の増加		飼料価格の上昇
	水媒介感染症の増加		食料価格の上昇
	動物媒介感染症の増加		食料供給の不安定化
動物媒介感染症の減少	食料安全保障の悪化		
人間媒介感染症の増加			
水資源	土壌水分の減少	産業	インフラ被害の増加
	河川流量の減少		木材生産量の減少
	河川流量の増加		木材生産量の増加
	河川水温の上昇	社会	北極海航路の出現
	河川水質の悪化		観光産業への悪影響
	河川土砂運搬量の減少		島嶼地域への悪影響
	河口の塩水化		居住地の移動
	湖沼水温の上昇		紛争の激化
	湖沼の酸性化		風習の変化
	地下水の枯渇		文化遺産の損傷
	地下水の塩水化		文化の変容
	沿岸部の塩水化		
	水需要の増加		
	水資源の減少		
	水資源の増加		
水処理費用の増加			
水価格の上昇			
水安全保障の悪化			

生態系	土壌流出の増加	地球 科学的 臨界現象	エルニーニョの変質
	土壌有機物の減少		海洋深層循環の停止
	生物季節応答の変化		グリーンランド氷床の縮小
	植生帯の変化		サハラ緑化
	森林火災の増加		ツンドラの消失
	森林の衰退と枯死		凍土の消失
	マングローブ林や湿原の減少		西南極氷床の崩壊
	落葉や風倒の激化		熱帯雨林の大規模枯死
	藻類などの繁茂		氷河の消失
	益虫の減少		北極海氷の消滅
	害虫の増加		北方林の消失
	窒素固定量の増加		モンスーンの変質
	窒素酸化物放出の増加		
	生物多様性の低下		
	生物多様性の向上		
	生態系生産量の減少		
	生態系生産量の増加		
	海洋の酸性化		
	海洋炭酸カルシウムの溶解		
	海洋溶存酸素の減少		
	海洋窒素酸化物放出の増加		
	海洋表層栄養塩の増加		
	海洋表層栄養塩の減少		
	海洋生態系生産量の減少		
	海洋生態系生産量の増加		
	海洋生物生息域の変化		
海洋生物多様性の低下			

(4) リスク間の因果関係の記述

次に、表 II-1-1 の作成手順と同様に、ICA-RUS に参画する同様のメンバーによって、既存の文献に基づき、リスク項目の間の因果関係を記述する作業を行った（表 II-1-2）。具体的には、表 II-1-1 で示した気候システムの変化と気候変動によって生じる被害や利益の各項目を、「原因」「結果」のいずれかに配置する。既存の文献に基づき、考えられる全ての因果関係を網羅したデータベースを作成し、現在では全体として 300 程度の因果関係の記述を行った。ここでも表 II-1-1 のデータの作成と同様に、因果関係の重複がなくなるよう、ある因果関係の内容が別の因果関係の一部に含まれることがないように気をつけた。また、原因と結果の間に別の現象が生じるようなことがないように、「間接的な」因果関係が含まれないように注意してデータの作成を行った。リスク因果関係を記述したデータは

<http://www.nies.go.jp/ica-rus/inventory.html> において公開している。現在のデータには、因果関係の根拠となる文献の情報や、それぞれの因果関係の確信度は含まれていないが、今後はこれらの情報を含めた形でデータを公表する予定である。

表 II-1-2 リスク項目の間の因果関係の例

原因	結果
猛暑の増加	熱中症や熱関連死亡の増加
河川流量の減少	水資源の減少
水資源の減少	水安全保障の悪化
河川流量の減少	水力発電効率の低下
水力発電効率の低下	エネルギー供給の不安定化
水資源の減少	作物生産量の減少
作物生産量の減少	食料価格の上昇
食料価格の上昇	食料安全保障の悪化
食料安全保障の悪化	居住地の移動
居住地の移動	紛争の激化
強風の激化	文化遺産の損傷
降水量の減少	森林火災の増加
降水量の減少	森林の衰退と枯死
森林の衰退と枯死	生態系生産量の減少
生態系生産量の減少	温室効果ガス濃度の増加
森林の衰退と枯死	生物多様性の低下
海洋の酸性化	海洋炭酸カルシウムの溶解
海洋炭酸カルシウムの溶解	漁獲量の減少
森林の衰退と枯死	ツンドラの消失

※表 II-1-1 で示した気候システムの変化と気候変動によって生じる被害や利益の各項目を、「原因」「結果」のいずれかに配置する。既存の文献に基づき、考えられる全ての因果関係を網羅したデータベースを作成した (<http://www.nies.go.jp/ica-rus/inventory.html>)。ここに示すのはその一部であり、全体としては300程度の因果関係を記述した。

(5) リスク項目における主要な用語の定義

表 II-1-1 で示したリスク項目で挙げた現象は、後述する「ネットワーク図」の用語として用いるため、可能な限り簡略化された表現を用いている。表 II-1-1 において、特に社会が「被害を避けたい」と望むと考えられる現象(=「エンドポイント」と呼ばれる)に関わる用語の内容は、以下のとおりである。表 II-1-1 には、ここに示した用語以外にもエンドポイントになりえる項目はあるが、それらは下記「リスク連鎖の概要」において解説を行った。

水安全保障の悪化：Millennium Development Goal による水安全保障 (water security) の定義では、「安全な飲み水と公衆衛生へのアクセス (access to safe drinking water and sanitation) が可能なこと」である (UN general assembly 2010)。ここでは、人間活動のために必要な水、すなわち農業用水・工業用水・生活用水の入手可能性が損なわれることを「水安全保障の悪化」と表現した。

エネルギー安全保障の悪化：国連によるエネルギー安全保障 (energy security) の定義は「安全で信頼性があり手頃な価格 (safe, reliable and affordable energy service) の、調理・暖房・光熱・コミュニケーション・生産の利用のためのエネルギーサービスが得られること」である (Hoff 2011)。ここでは、人間活動のために必要なエネルギーの入手可能性が損なわれることを「エネルギー安全保障の悪化」と表現した。

食料安全保障の悪化：FAO による食料安全保障の定義は「活動的で健康な生活のための、必要な栄養と食物の好みを満たす (meet the dietary needs and food preferences)、十分で、安全な、栄養のある食料に対する入手可能性とアクセス (availability and access to sufficient, safe and nutritious) があること」である (Hoff 2011)。ここでは人間活動のために必要な食料の入手可能性が損なわれることを「食料安全保障の悪化」と表現した。

生態系生産量の減少・増加：陸域生態系においては、植物が光合成を行うことで大気中の二酸化炭素を吸収し、同時に呼吸によって二酸化炭素を排出することで、有機物の生産を行っている。ここでは、

光合成から呼吸などを引いた「純一次生産 (net primary production)」の変化を、「生態系生産量の減少・増加」と表現した。海洋における同様のプロセスを「海洋生態系生産量の減少・増加」と表現した。生態系生産量の変化は、大気中の温室効果ガス濃度の変化に影響を与えるだけでなく、生態系における他の生物の食料となるため、生物多様性にも影響を与える。

生物多様性の低下・向上：生物多様性の生物学的な定義は、ある地域での遺伝子・種・生態系の全体的な多様性 (Larsson 2001) である。ここでは、生物生息域の消失による生物種の絶滅、生物相の変化を「生物多様性の低下」と表現した。逆に、生態系生産量の増加による好影響を「生物多様性の向上」と表現した。

(6) リスク因果関係の可視化と解釈

私たちが作成した 130 程のリスク項目 (表 II-1-1) と、その間の 300 程度の複雑な因果関係を理解するためには、工夫が必要である。そこで私たちは、複雑ネットワークを図化するための手法

(Fruchtman & Reingold 力指向アルゴリズム) を利用して、リスク項目の因果関係の視覚化を行った。この手法は、非常に数多くのものごとの間の複雑なつながり、ネットワークを表現するための手法で、様々な分野で利用されている。

(7) リスク連鎖の概要

この研究によって得られたリスク連鎖のネットワーク図を、図 II-1-1 から図 II-1-8 に表す。これらは本来、130 程のリスク項目 (表 II-1-1) と、その間の 300 程度の因果関係を利用して、1 枚の図にまとめて表わされるものである。しかし 1 枚の図で表すと、リスク項目の数が多すぎて、ネットワークのつながりが複雑になりすぎるため、前述の「リスクのカテゴリ分け」8 枚の図に分割して表現している。1 枚であらわした図は <http://www.nies.go.jp/ica-rus/inventory.html> において公開している。

これらのリスク連鎖の図を解釈する上で注意すべきことは、図には様々な因果関係を矢印で示してあるが、因果関係によって、生起確率や確信度が異なることである。また、因果関係が生じる場所や規模 (全球的か地域限定的か) も、因果関係によって異なる。ネットワーク図で表すと、すべての因果関係が確実に起こるという印象を与えるかもしれないが、そうでないことを注意していただきたい。因果関係によって性質が異なることは、今後グラフの中で表現する (確信度の高い因果関係とそうでないものを違う色の矢印で表現するなど) 予定である。今後の課題の詳細については次節で解説した。

図 II-1-1 は、表 II-1-1 の「健康」カテゴリのリスク項目が、原因か結果に含まれる因果関係を表現した図である。気温の上昇は寒冷関連死亡の現象などの好影響ももたらすが、猛暑の増加なども要因となり、熱中症や熱関連死亡の増加をもたらす可能性がある。また、気温の上昇や洪水の増加などが食料媒介感染症 (食中毒など)、水媒介感染症 (コレラなど)、人間媒介感染症 (人から人へ広がる感染症) の増加をもたらす可能性がある。食料安全保障の悪化や水安全保障の悪化は、低栄養の増加や下痢の増加をもたらす。熱帯低気圧の強化や作物の減少による精神疾患の増加も報告されている。この一方で、降水量の減少などによる乾燥化は、動物媒介感染症の減少という好影響ももたらす。

健康

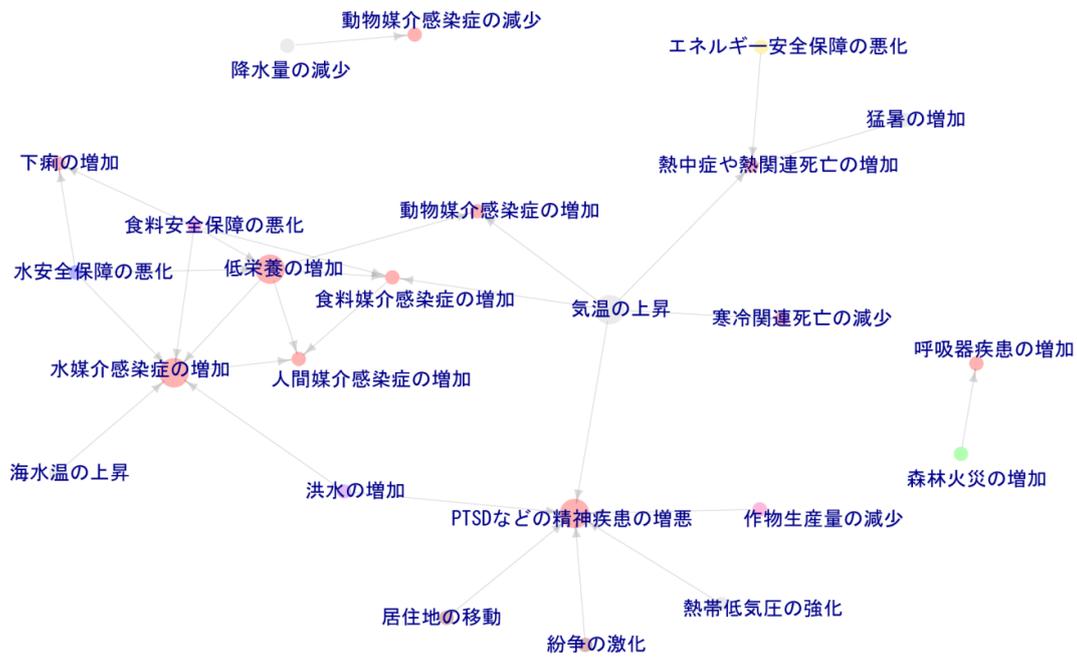


図 II-1-1 表 II-1-1 の「健康」カテゴリに含まれるリスク項目が、原因か結果に含まれる因果関係を示すネットワーク図

図 II-1-2 は、表 II-1-1 の「災害」「社会」カテゴリのリスク項目が含まれる因果関係の図である。豪雨や強風の増加が家屋被害やインフラ被害の増加を引き起こす可能性がある。また、食料や水の安全保障の悪化によって、紛争の激化や居住地の移動が生じる可能性がある。食料価格の変化による食文化の変容、海面水位の上昇による島嶼地域への悪影響も懸念されている。

災害 社会

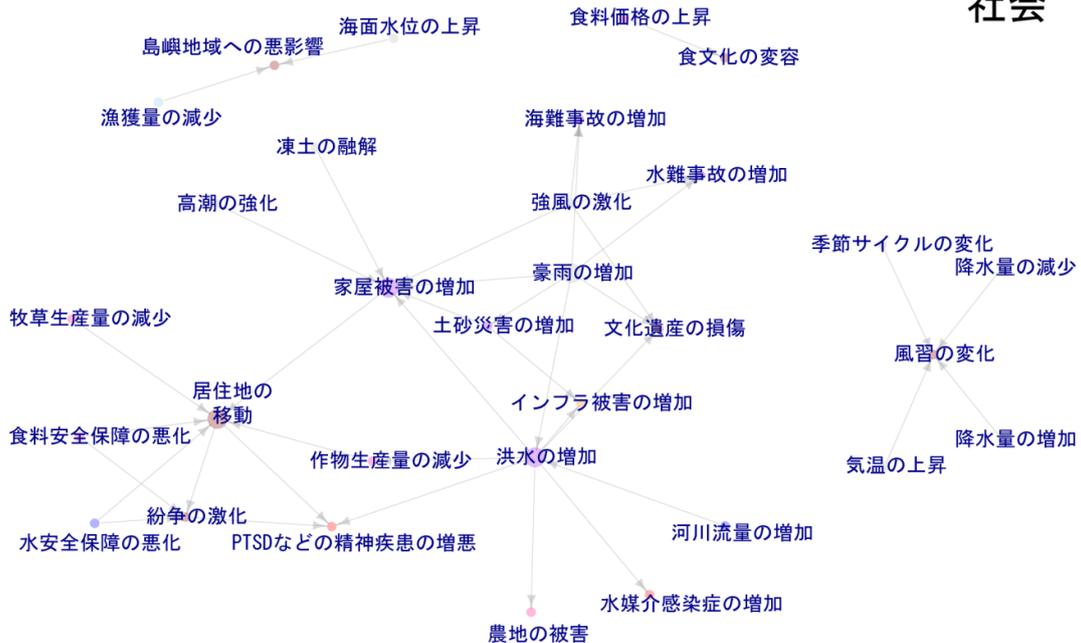


図 II-1-2 表 II-1-1 の「災害」「社会」カテゴリに含まれるリスク項目が含まれる因果関係を示すネットワーク図



図 II-1-4 表 II-1-1 の「エネルギー」「産業」カテゴリに含まれるリスク項目が含まれる因果関係を示すネットワーク図

図 II-1-5 は、表 II-1-1 の「食料」カテゴリのリスク項目が含まれる因果関係の図である。気温の上昇や降水量の減少に伴う乾燥化などによって、作物生産量が減少する可能性がある。また熱帯低気圧の強化などによって引き起こされる、強風の激化や豪雨の増加などは、農地に被害を与えることを通して、作物生産量に悪影響を与える。同様の原因は、作物の生産量だけでなく、品質を悪化させることにもつながる。作物生産量の減少は、食料供給の不安定化を通して、食料安全保障の悪化を引き起こす可能性がある。食料安全保障の悪化は、前述のように健康に影響を与え、極端な場合には社会に対しても大きな影響を与える可能性がある。一方で特に寒冷地など、場所によっては気温の上昇・温室効果ガス濃度の増加や降水量の増加によって、作物生産性の増加がみられる可能性もある。



図 II-1-5 表 II-1-1 の「食料」カテゴリに含まれるリスク項目が含まれる因果関係を示すネットワーク図

図 II-1-6 は、表 II-1-1 の「生態系」カテゴリのうち陸域生態系に関わるリスク項目が含まれる因果関係の図である。生態系における因果関係は複雑なため、海洋に関わるリスク項目は図 II-1-7 に分離した。気温の上昇や降水量の減少による乾燥化によって、生物種間相互作用の変化・生物生息域や植生帯の変化・生物種の絶滅などが生じることにより、生物多様性が低下する可能性がある。強風の激化によって落葉や風倒の増加が起こる可能性も指摘されている。同様に気温の上昇と降水量の減少は、森林の枯死や衰退、そして森林火災の増加につながる。これらの減少は生態系生産量を減少させることになり、二酸化炭素を吸収する量が減る（排出する量が増える）ことになり、温室効果ガス濃度が増加することになる。また、肥料の利用は藻類の繁茂等を通して河川や湖沼の水質を悪化させる上に、窒素酸化物を放出することで、温室効果ガス濃度を増加させる。この一方で、温室効果ガス濃度の増加に伴う施肥効果によって二酸化炭素を吸収する効率が高まり、生態系生産量が増加するという好影響が生じる可能性もある。



図 II-1-6 表 II-1-1 の「生態系」カテゴリに含まれるリスク項目のうち、陸域生態系に関わる項目が含まれる因果関係を示すネットワーク図

図 II-1-7 は、表 II-1-1 の「生態系」カテゴリのうち海洋生態系に関わるリスク項目が含まれる因果関係の図である。海水温の変化によって海洋生物生息域の変化し、また海洋の酸性化によって炭酸カルシウムが溶解することで、貝類に悪影響が生じる。海洋生物生息域の変化や貝類の炭酸カルシウムの溶解は、漁獲量の減少につながる。また、海水温の上昇や海洋循環の変化によって海洋表層栄養塩が減少し、海洋生態系生産量が減少する。これにより二酸化炭素の吸収量が減ることになり、生態系生産量が減少する。また、海水温の上昇によるサンゴの白化など、海洋生物多様性が低下する可能性もある。この一方で、肥料の利用によって海洋表層栄養塩が増加し、海洋生態系生産量が増加する可能性もある。

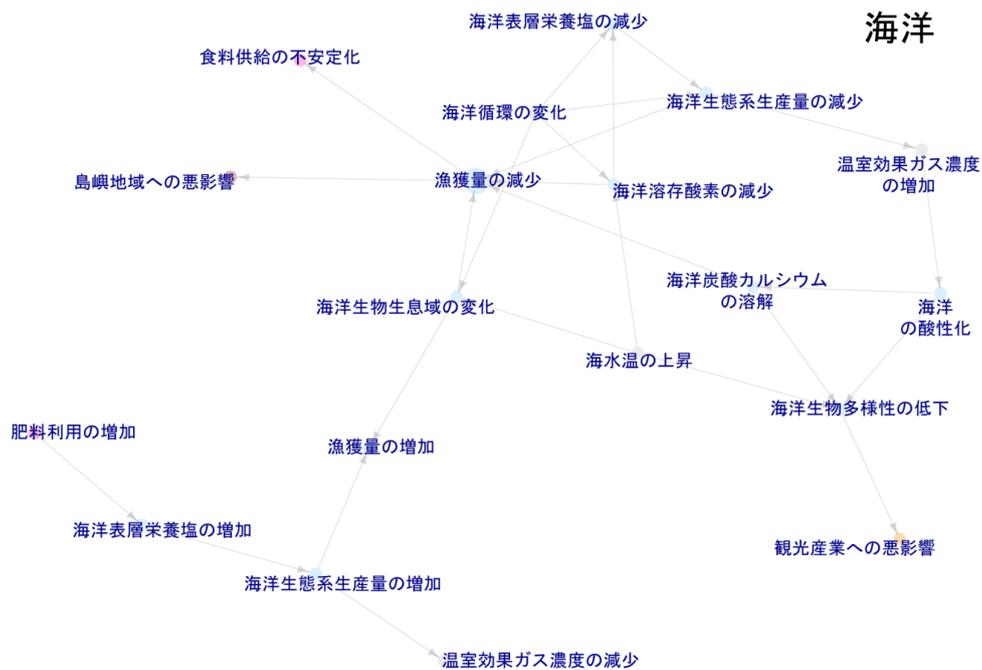


図 II-1-7 表 II-1-1 の「生態系」カテゴリに含まれるリスク項目のうち、海洋生態系に関わる項目が含まれる因果関係を示すネットワーク図

図 II-1-8 は、表 II-1-1 の「地球科学的臨界現象」カテゴリのリスク項目が含まれる因果関係の図である。ここでは、前述のように気候変動が進行してある「臨界点」を超えてしまった後の状態、結果として大惨事を引き起こす可能性があるよう気候変動の要素の因果関係を示している。図 II-1-1 から図 II-1-7 までの現象の時間スケール（2100年頃まで）に比べて、図 II-1-8 で示した現象の時間スケールは長い（100年～1,000年）ことに注意していただきたい。気温の上昇による雪氷の融解が進むと、氷河の消失・西南極氷床の崩壊・北極海氷の消滅などに至る可能性がある。また、気温上昇や降水量の減少による乾燥化によって森林の衰退が進むと、ツンドラや北方林の消失、熱帯雨林の大規模枯死が生じる可能性がある。また、大気循環や海洋循環の変化によって、モンスーン（季節風）やエルニーニョの構造が変わり、また極端な場合には、海洋循環の変化は海洋深層循環の停止にまでつながる可能性もある。この一方で、モンスーンの構造が変わり、サハラ付近への水蒸気が大量に供給されることで、サハラの緑化という好影響が生じる可能性もある。

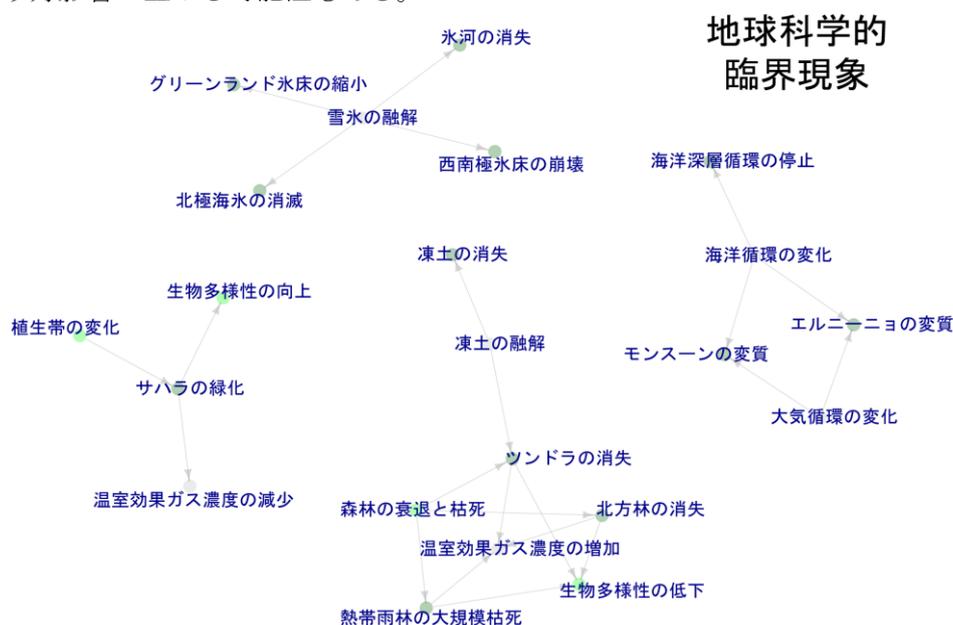


図 II-1-8 表 II-1-1 の「地球科学的臨界現象」カテゴリに含まれるリスク項目が含まれる因果関係を示すネットワーク図

II-1-iii 今後の課題

リスクの因果関係を可視化したネットワーク図（図 II-1-1 から図 II-1-8）によって、気候変動によって生じる様々なリスクを、複数の分野にまたがるリスクの連鎖も含めて、明快に示すことができた。これにより、気候変動リスクの全体像を把握することが可能である。

ここで得られた気候変動リスクの特徴を把握することで、気候変動リスク管理戦略の構築に生かすことが大きな目標である。我々は、リスク管理戦略の構築のために必要なリスクの特徴づけについて議論を行い、以下の要素が重要であると考えている。

影響の大きさ：気候変動への対策を施さなかった場合、経済・健康・生態系などに及ぼす影響はどの程度か。被害だけでなく利益も考慮する。

発生時期：発生が生じるおおよその時期を評価する。局所的に発生する時期、全球に広がる時期など、影響が顕在化する時期を評価する。

持続性：気候変動によって現れた影響がどれくらい持続するかを評価。不可逆的（生じた影響が元に戻ることが不可能）・持続的（影響が持続して長期にわたる）・短期的（影響の慣性が小さく、過去の影響をひきずることなく、もし気候変化が緩和したら影響がなくなるもの）の性質を評価。

一様性・公平性：影響の現れ方の一様性。多くの人に一樣に公平に影響が及ぶものか、一部の人たちだけが影響を受けるものか。

適応可能性：現実的に実現できなさそうな適応策によって適応できそうかを評価する。影響が現れた後に、適応可能かどうか。

生起可能性：気候変動によって生じる被害や利益が起こる可能性。

確信度：その現象が起こることにどれくらい確からしいか。証拠の量と見解の一致度による。文献が少なければ確信度は低い。文献が多くても見解の一致がなければ確信度は低い。

表 II-1-1 では気候変動によって生じる様々なリスクの項目を抽出し、表 II-1-2 のような形で、複雑なリスクの因果関係について明らかにした。今後は、表 II-1-1 に挙げたリスク項目が、上記の要素に関して、どのような特徴を持つか、についてのデータを構築することが重要であると考えている。またこれまでの研究では、気候変動対策を講じなかった場合のリスクの評価を行ったが、気候変動対策を行った場合にも、様々なリスクが生じるはずである。将来的には、ここで作成したリスクインベントリと、前述した ICA-RUS によって作成している「対策インベントリ」を融合することにより、気候変動リスク管理を行うために有用な情報の提示を行うことと考えている。

参考文献

Hoff, H. (2011), *Understanding the Nexus*, Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute, Stockholm.

Larsson, T.B. (2001), *Biodiversity evaluation tools for European forests*, pp.178, Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, USA.

UN General Assembly (2010), Resolution adopted by the General Assembly. The human right to water and sanitation (A/RES/64/292), General Assembly, Sixty-fourth session, 108th plenary meeting, 28 July 2010, New York, NY, USA.

UKCCRA (2012), UK Climate Change Risk Assessment: Government Report, Department for Environment, Food & Rural Affairs, London, UK.