

物理的リスク・移行期 リスクの複合的影響

ケーススタディ：鉱業

異常気象の頻発は、低炭素経済への移行に必要な鉱物の生産を困難にする可能性がある。ここでは今後リスクがどのように増大し、鉱業の社会的・環境的要因によって複合的なリスクを生み出するかを探る。これらのリスク管理は、迅速で的を絞った準備対策と適応によってのみ可能である。

2024年3月26日 ルー・マンデン、ベン・ボーイ、ジャスティン・ムル

本稿は、2024年3月26日に [GARP](#) (Global Association of Risk Professionals、世界リスク管理専門家協会) のウェブニュースに掲載されたものである。GARP は世界有数のリスク・マネジメント協会であり、教育、研究、ベストプラクティスの推進を通じてリスク管理実務を向上させることを目的としている。GARP の参加者は195カ国、26万人にのぼる。

気候変動が深刻化するなか、クリーンで持続可能なエネルギーと輸送手段への移行がかつてないほど重要になっている。しかし、そこには新たなリスクがある。本稿では、この移行の鍵である、バッテリー、風力タービン、ソーラーパネル、その他の脱炭素技術に不可欠な鉱物（「トランジション・ミネラル」）に焦点を当てる。

トランジション・ミネラルにまつわるリスクの中で気づかれていないものの一つに、気候変動の速度と深刻さがある。当社の分析では、一般に今後10年間については異常気象の大幅な変化に対する準備は表向きできていることになっている。そこで私たちが心配なのは、リスクが過小評価されているかも知れないということだ。既存のリスクデータではコンセンサス平均が重視されているためである。その観点から言えば企業、投資家、政府の大多数の準備は十分というにはほど遠い。

気候科学者たちは、2017年に1°Cの温暖化を通過した後、この2020年代の終わりまでに地球の平均気温上昇

が1.5°Cに達するという確信を深めている。我々のデータによる分析によると、2017年の95パーセンタイルの気温を超える日数は世界平均で131%増加し、特定の地域では最大525%増加する。

TMP は、ヒューレット財団、クアドラチャー・クライメート財団、V. Kann Rasmussen 財団の支援を受け、釜山国立大学のIBS気候物理学センター (ICCP) と協力し、今後10年間の異常気象 (EWE*) に関する、より詳細な気候情報を一般に提供するためデータセットの開発に取り組んできた。異常気象 (EWE) の定義は、気温と降水量の気候指標うち1つ以上が著しく変化して引き起こされる異常な気象状態である。

この研究は物理的な気候変動に焦点を当てているが、これは紛争、天然資源不足、物流問題、政情不安を悪化させ、複合的悪影響を与える可能性が高い。その結果、複合的気候変動リスクは、広範にわたるサプライチェーンの阻害、巨額の財務的損失、重大な

負の外部性（生計や生物多様性への被害など）を引き起こす可能性がある。

このような複合的気候リスクに対しては、サプライチェーンのレジリエンス構築のために迅速かつ的を絞った協調的な行動をとることによって対応することができる。意思決定者は、いったん複合的気候リスクに気づいたならば、それを回避・緩和するため、あるいは必要に応じて「適応」するために動かなければならない。ここには「機会」もあり、気候リスクは何十年も前から鉱業業界に必要とされていた改善点（例えば、水管理やコミュニティ・エンゲージメントの分野）を向上させる動機付けにもなりうる。



Lou Munden

* Extreme Weather Events の略

トランジション・ミネラルのサプライチェーンへの気候変動の影響

エネルギー移行には、かつてないほどに急速な設備拡大が必要である。例えば主要鉱物の鉱山、加工工場、製造施設、物流インフラなど。また、銅、ニッケル、リチウム、グラファイト、コバルト、マンガン、レアアース及び白金族金属などを含む鉱物のサプライチェーンにも拡大需要がある。情報源により予測は異なるが、主要鉱物の生産、加工、輸送は、2030年までに229～527%増加する必要があるとされている。

ほとんどのOECD加盟国企業にとって、供給量をこのように増加させることは、長年にわたる探鉱への投資不足、そしてこの業界特有の社会的・環境的課題のため難しい。一般に、企業はこのような社会的・環境的課題への備えができていないからだ。同様に、中国

企業も、2010年代の海外探鉱への投資減少や、現在の中国経済危機の波及により困難に直面している。我々のデータは、気候変動リスクの増大が、トランジション・ミネラル供給の急速な拡大をさらに難しくする可能性を示唆している。

鉱物の採掘と加工は地理的に非常に集中しており、少数の国や地域が主要商品を独占的に扱っている。例えば、世界のリチウム生産量の50%以上は、チリの1カ所とオーストラリアの1カ所から産出されている。また、ほとんどの鉱物の加工は、大部分（なかにはほぼ全て）が中国で行われている。

したがって、気候の影響の重要性を理解するために、最初の分析ではトランジション・ミネラルの生産と加工の大きな割合を占める35の行政区域

（米国は州レベル、中国は省レベル）を特定した。これらには、リチウム（90%）、コバルト（71%）、薄片状黒鉛（60%）、希土類元素（55%）、マンガン（44%）、ニッケル（40%）、銅（29%）が含まれる。表1は、これらの地域の複合的気候リスク結果を示し、図1～3は、「気温」、「多雨」、「少雨」の内訳を示したものである。



表 1

トランジション・ミネラル採掘・加工地域 35ヶ所の複合的気候リスク

L1 name	Country	Abnormal climate risk factors (no.)	Temperature risks (/100)	Wet climate risks (/100)	Dry climate risks (/100)	Precipitation, temperature and grievance risks (/100)
Apurímac	ペルー	5	90	0	99	83
Pará	ブラジル	5	84	98	49	82
Antofagasta	チリ	4	70	56	88	58
Haut-Ogooué	ガボン	4	94	88	40	81
江西省	中国	4	80	78	81	69
四川省	中国	4	70	77	66	72
Sulawesi Tengah	インドネシア	4	84	99	0	62
Tarapacá	チリ	4	88	76	71	68
Arequipa	ペルー	3	84	0	79	66
Cabo Delgado	モザンビーク	3	53	76	44	62
California	米国	3	57	0	80	47
Cusco	ペルー	3	94	0	73	75
Haut-Katanga	コンゴ民主共和国	3	62	0	61	64
黒竜江省	中国	3	66	0	96	69
Jujuy	アルゼンチン	3	77	63	70	71
Limpopo	南アフリカ	3	81	0	54	53
Lualaba	コンゴ民主共和国	3	77	0	72	74
内モンゴル	中国	3	44	56	94	61
North West	南アフリカ	3	82	0	71	55
Odisha	インドネシア	3	24	0	99	58
Québec	カナダ	3	48	58	89	46
雲南省	中国	3	64	70	40	62
Ancash	ペルー	2	91	0	24	56
Arizona	米国	2	62	0	66	47
Boké	ギニア	2	91	0	20	62
Catamarca	アルゼンチン	2	51	56	68	48
Copperbelt	ザンビア	2	63	0	62	59
Goiás	ブラジル	2	67	0	42	47
Northern Cape	南アフリカ	2	49	62	65	43
Western Australia	オーストラリア	2	27	92	31	32
Bahia	ブラジル	1	48	0	42	44
Minas Gerais	ブラジル	1	41	55	41	40
Ontario	メキシコ	1	43	0	58	27
Sonora	インドネシア	1	45	0	72	44
Sulawesi Tenggara	インドネシア	1	22	93	0	27

このようなサプライチェーンの集中によって生じる地政学的リスクはよく知られているが、我々のデータによれば、これらの地域は特に異常気象（EWE）のリスクにもさらされている地域である。具体的には、少なくとも1つの異常気象（EWE）に、これらの主要地域の25%が大きなリスクにさらされており（60～80パーセンタイル）、23%が非常に大きく（80～90パーセンタイル）、46%が極端にさらされている（90パーセンタイル以上）。複合的な災害も重大なリスクであり、主要地域の69%で2つ以上のEWEリスクが大きい。

世界の異常気象 (EWE) リスク

異常気象 (EWE) リスクを気温や降雨に分けた図では、気候変動がトランジション・ミネラルの設備 (鉱山、加工工場、製造施設、物流インフラ) に与え得る影響を示している。我々は、1°Cの温暖化 (～2017年) におけるレベルと比較して、1.5°C (～2029年) におけるさまざまなEWEの変化をグローバルに評価する分析アルゴリズムを開発した。

ICCPの共同研究者と協力し、このアルゴリズムはAlephスーパーコンピュータを用いて20の気候モデルで実行され、異常気象がどう変化するかについてそれぞれ特定の推定値を生成する。その後、これらを組み合わせて重み付けを行い、この結果を得た。我々の分析では、これらの気候モデルでEWEが大きく変化すると最も強く一致した結果になった場所に焦点を

当てている。このセクションでは、その暫定値と、なぜ異常気象 (EWE) がトランジション・ミネラルの採掘や加工にとって大きいことなのかについて説明する。



Justin Muhl

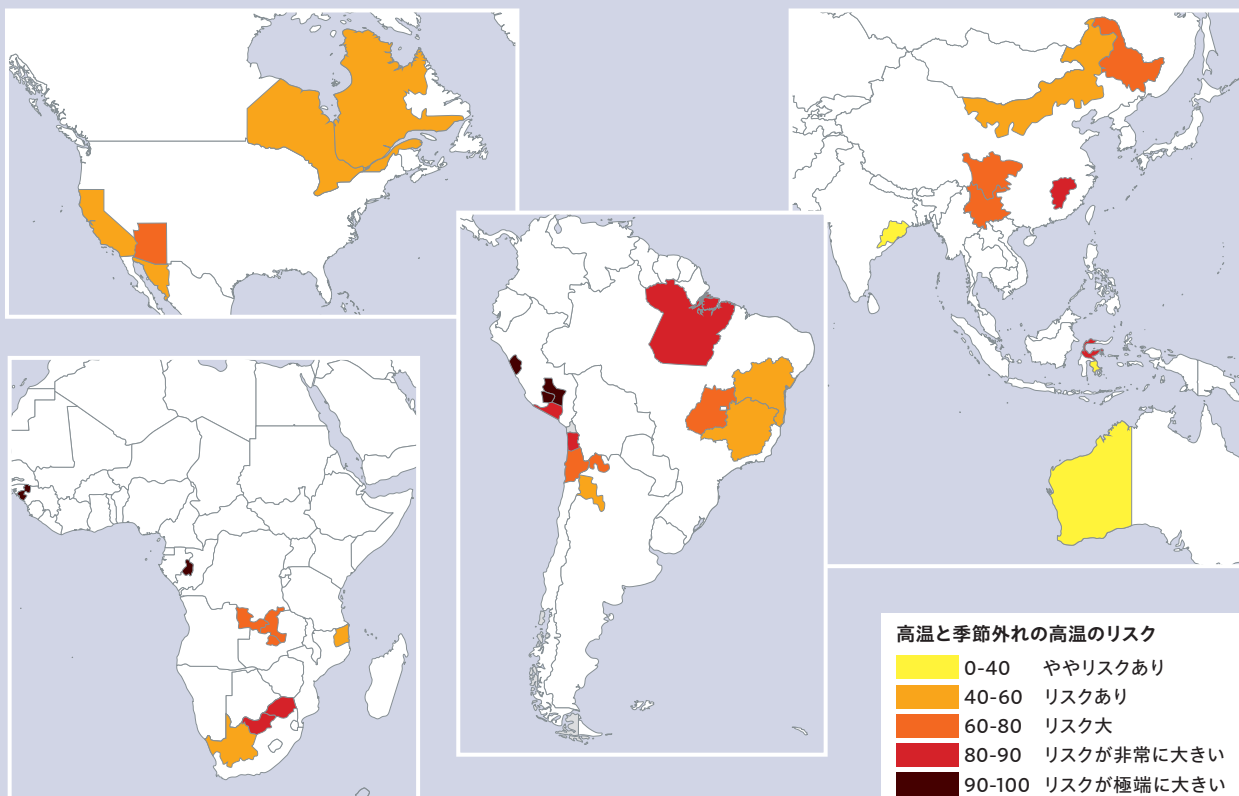
気温のリスク

異常気温と季節外れの高温という2つの指標を組み合わせると、ブラジル、ペルー、南アフリカ、中国などの多くの地域で操業が阻害されることがわかる (図1参照)。十分な備えがなければ、銅、マンガン、グラファイト、リチウム (その他の主要鉱物も含め) の供給に影響が出る可能性がある。

極端な暑さは、鉱山や加工施設での人々の安全な作業を妨げ、設備やインフラに損害を与える可能性がある (鉄道路線の座屈など)。また、気温の上昇は、衝突や紛争の可能性の上昇と相関関係があることを示す証拠もある。

図1

高温の気候リスクのあるトランジション・ミネラル生産・加工主要地域



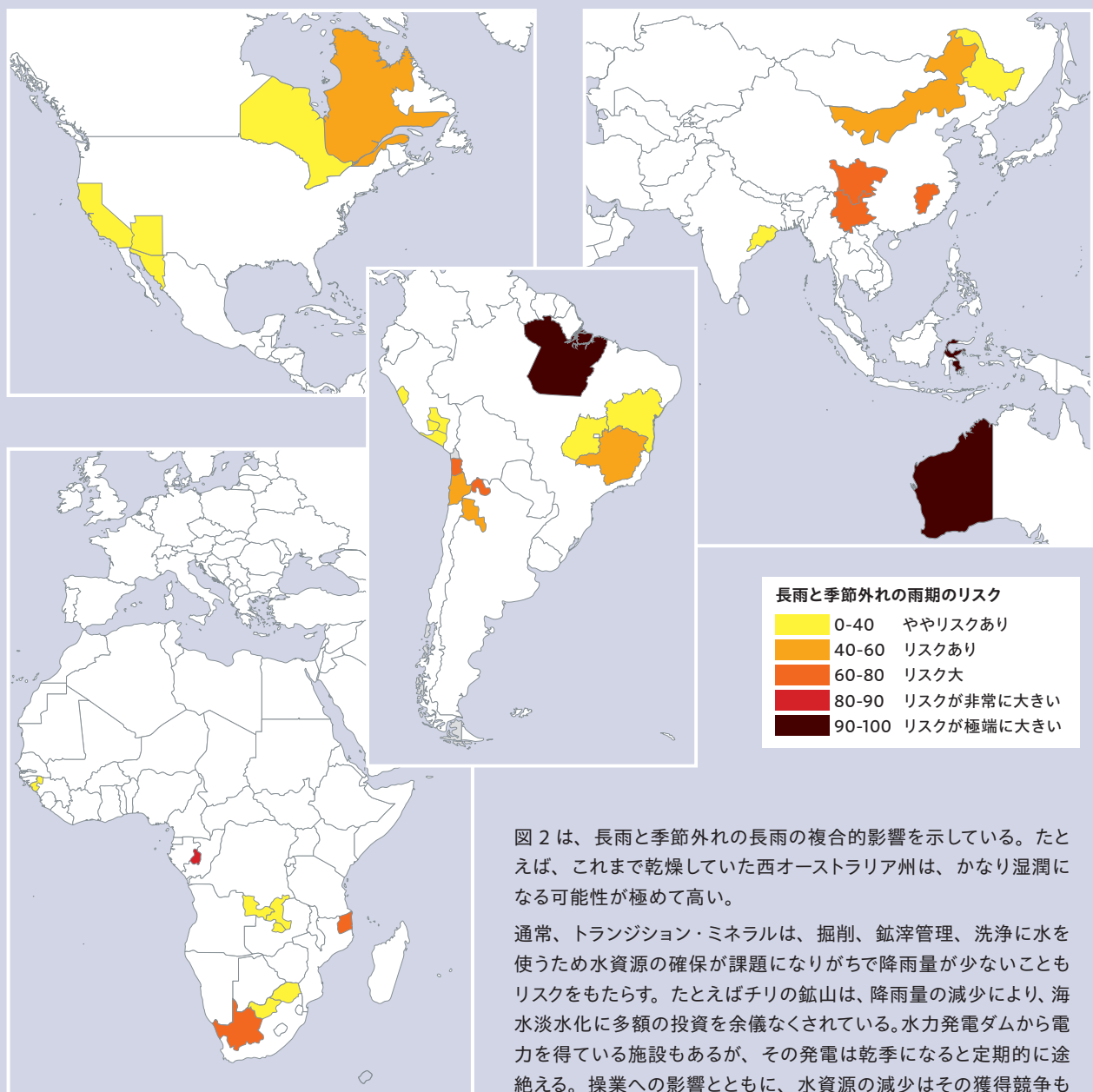
水のリスク

降雨量の増加や異常降雨による洪水は、鉱山を操業停止に追い込む可能性があり、さらに問題なのは、社会的、環境的、政治的に大きな打撃を及ぼすテリングダム*の決壊につながることであり（詳細は次のセクションに記載）。また、水量が増えれば鉱物の脱水過程が複雑になり、特に蒸発を利用する方法では処理に時間がかかる。

ほとんどの鉱山や加工施設は、今後数年間の降水パターンや洪水の予想ではなく、過去の降水パターンや洪水を想定して設計されている。

図 2

長雨の気候リスクのあるトランジション・ミネラル生産・加工主要地域



* 鉱滓ダム（こうさいダム、英語：tailings dam）とは、鉱山の選鉱・製錬工程で発生するスラグ（鉱滓）を水分と固形分とに分離し、その固形分を堆積させる施設である。

図 3

少雨の気候リスクのあるトランジション・ミネラル生産・加工主要地域

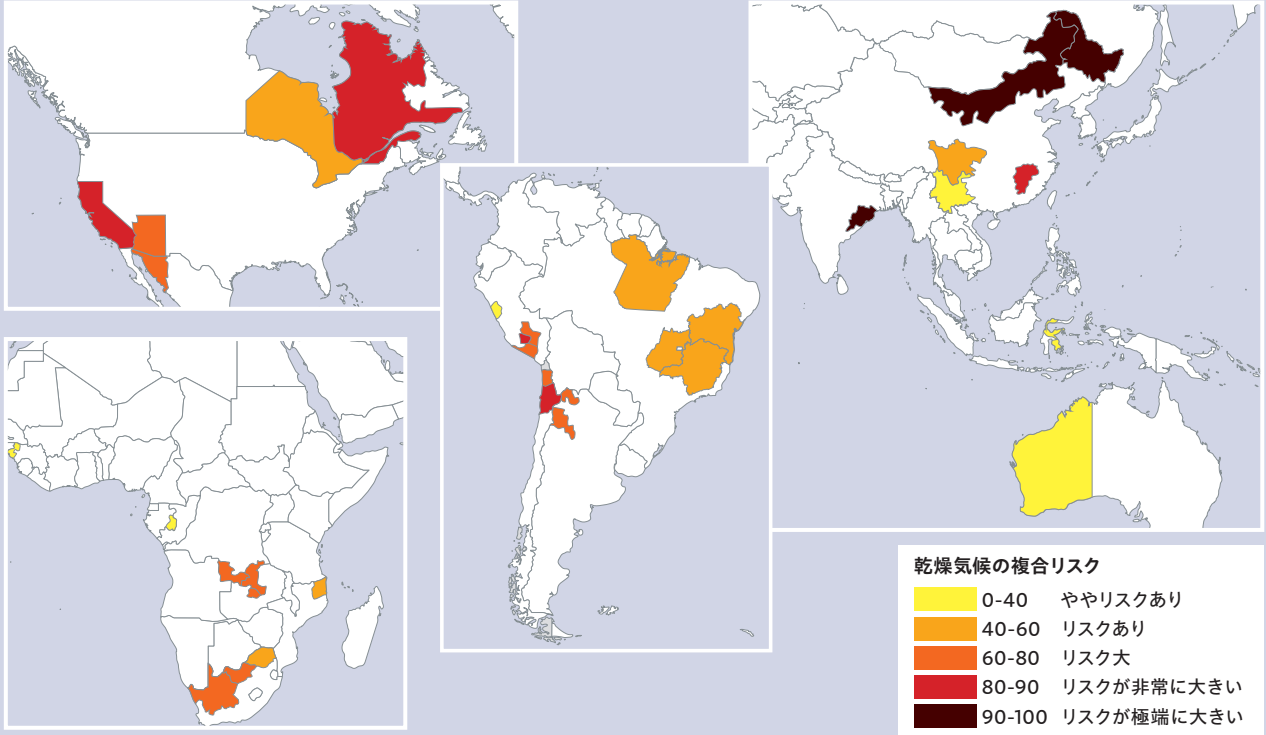


図 3 は、降雨量の減少が危惧される地域を示している。

マルチハザードのリスク

新たな異常気象のパターンは、それぞれ別々に起こるわけではない。多くの主要な地域では異常気象が複合的に起こり、相互関連のある慢性的な課題を引き起こす可能性が高く、それが気候の物理的影響による混乱をさらに高めることになる可能性がある。

図 4

トランジション・ミネラル生産・加工主要地域における異常気象の項目数

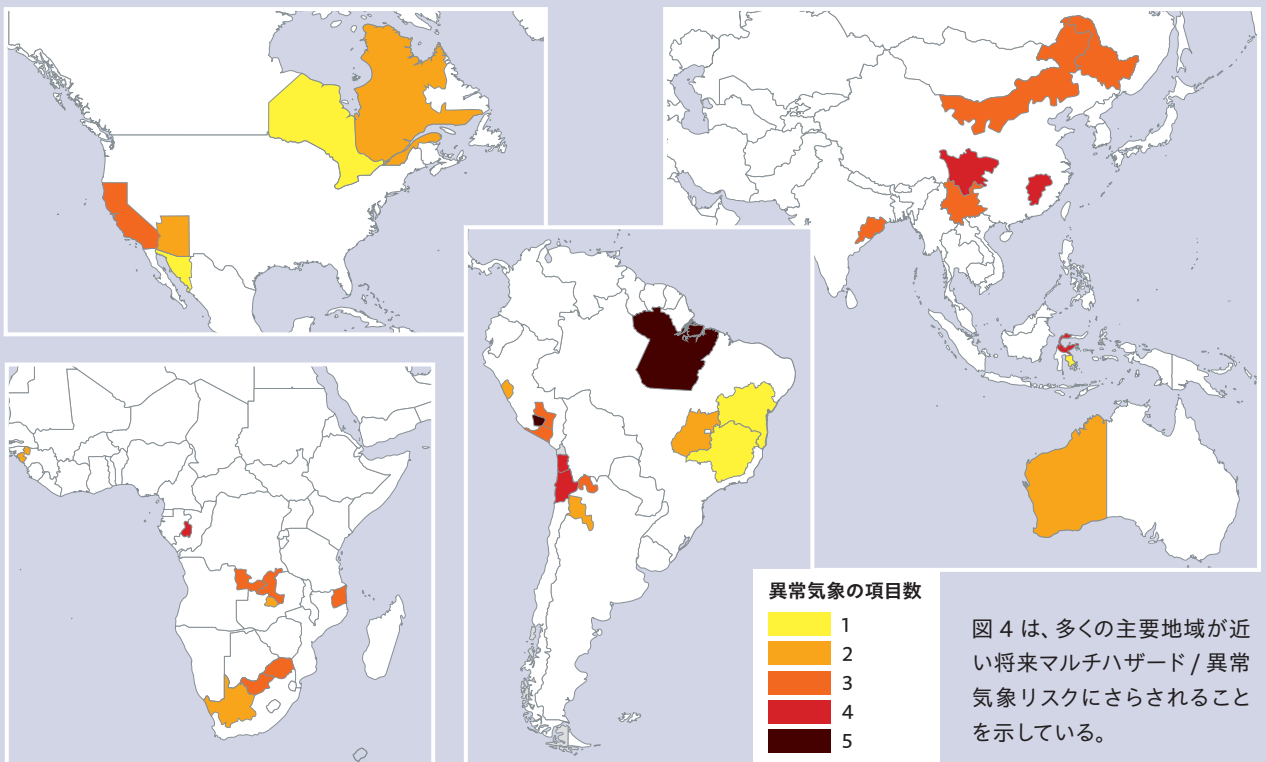


図 4 は、多くの主要地域が近い将来マルチハザード/異常気象リスクにさらされることを示している。

異常気象は ESG対応にも悪影響を与える

異常気象のもたらす影響は直接的なものだけでなく、特に環境・社会・ガバナンス (ESG) リスクなどと絡み合う複合的なものもある。この (ESG) 課題はかねてより鉱業業界の最重要課題であった。

特に、操業のためのソーシャルライセンス*の喪失は、既存の採掘プロジェクトに深刻な問題を引き起こし、生産の中断や中止にまでつながる可能性がある。例えば、世界最大級の露

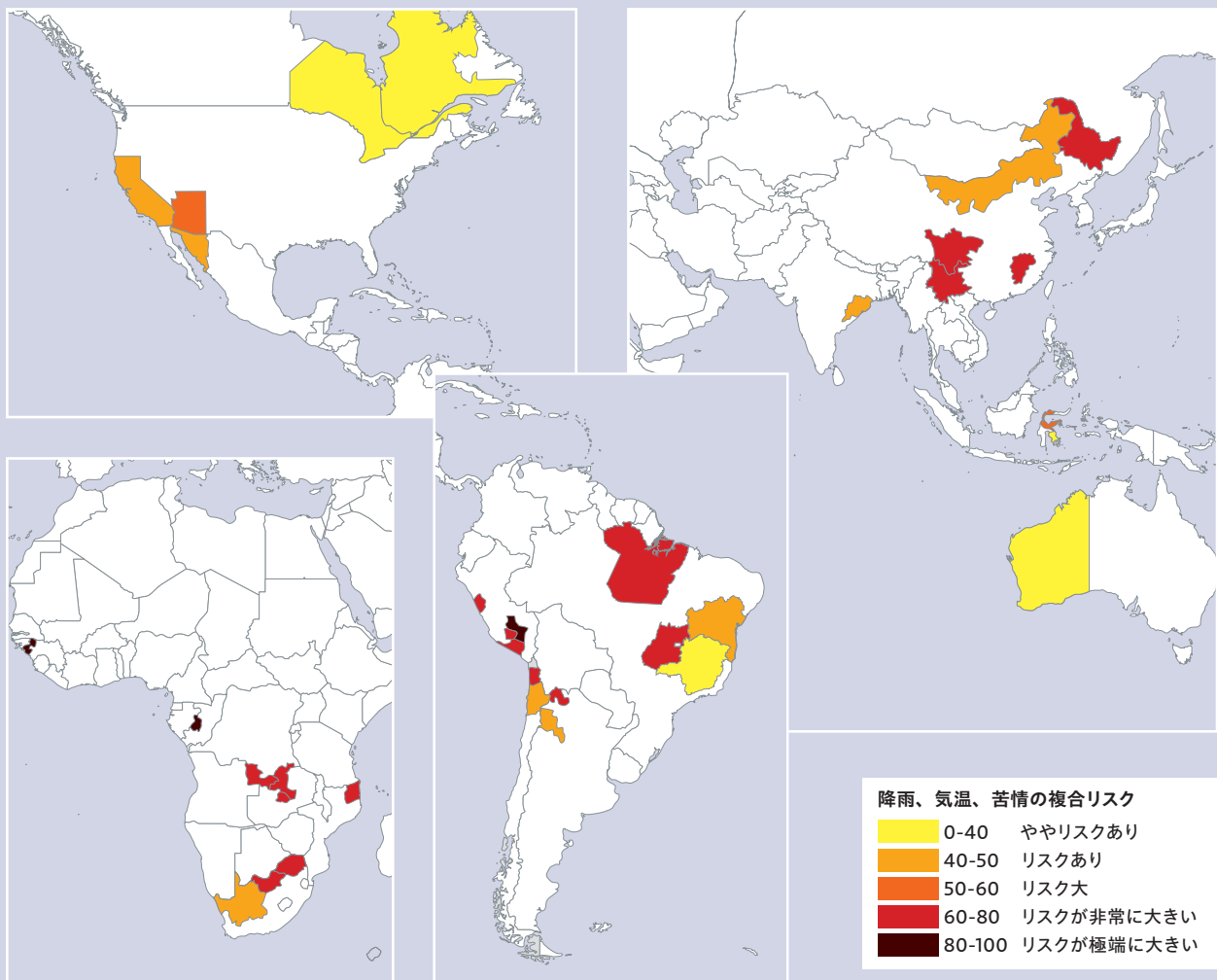
天掘り銅鉱山であるコブレ・パナマ・プロジェクトは、水資源への悪影響や利益の分配方法に対する抗議を受けて、2023年にライセンスが停止された。同様の紛争は世界中に何百とある。

弊社のランドスコープ (水、土地利用、汚職、ガバナンスの質、貧困、不平等、生活インフラへのアクセスなどの項目を調査するツール) を、気候リスク・データと組み合わせて使用すると、主要地域の 17% が少なくとも「大き

く」、40%が「非常に」、9%が極端な複合的気候リスクと社会・苦情リスクにさらされていることがわかる (図5)。これらの地域は、以下の鉱物の世界生産において大きな割合を占めている - プラチナ (70%)、コバルト (68%)、薄片状黒鉛 (60%)、リチウム (38%)、銅 (32%)、希土類元素 (32%)。

図 5

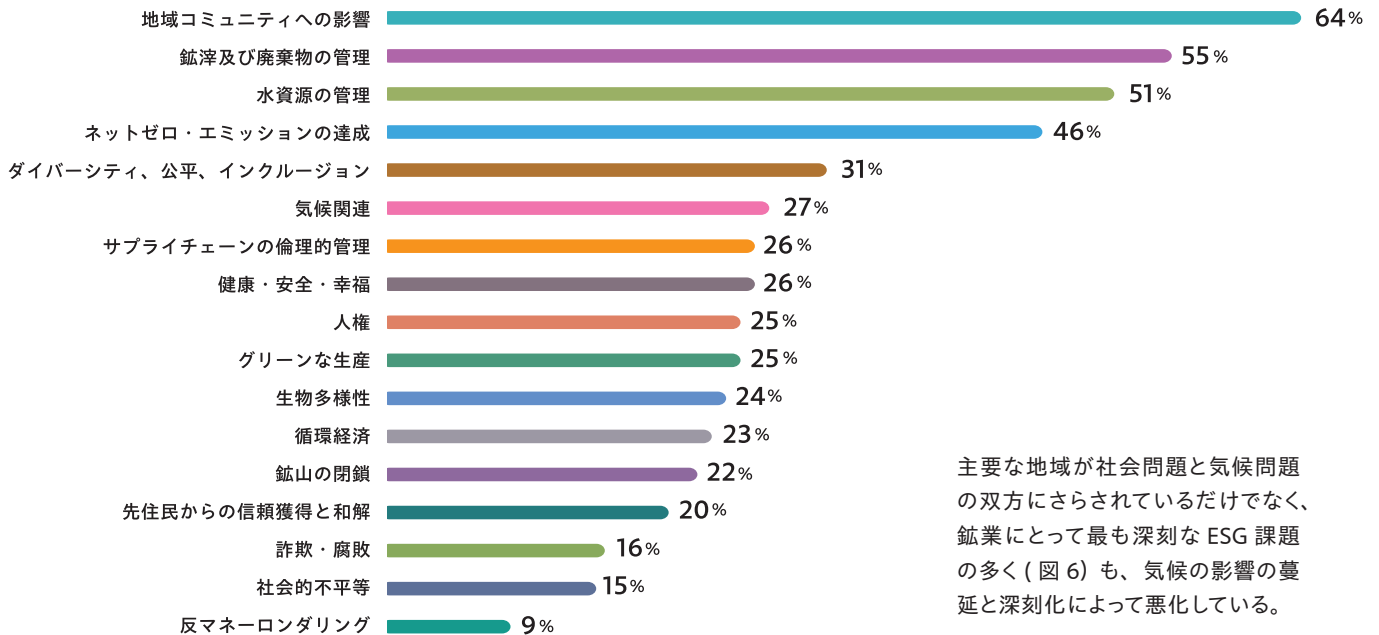
降雨、気温、苦情の複合リスクがあるトランジション・ミネラル生産・加工主要地域



* 90年代に作られた造語で、一般的に社会的営業免許 (Social License) と呼ばれる道徳的な免許 (制度ではない)。地域社会が鉱山開発を継続的に受け入れ、承認することを表す。

図 6

2024年、投資家に最も厳しい精査を受けた ESG項目



主要な地域が社会問題と気候問題の双方にさらされているだけでなく、鉱業にとって最も深刻な ESG 課題の多く (図 6) も、気候の影響の蔓延と深刻化によって悪化している。

Source: [EY mining and metals business risks and opportunities survey data 2024](#)

3つの重要な複合的問題 (最も深刻なESG課題は太字で記載)

01

極端な高温は紛争発生率の上昇につながり、地元コミュニティの支持の獲得とそれを維持することを困難にする。このリスクは、産業界と地元コミュニティ(**先住民族**を含む)との信頼関係がすでに低く、紛争の歴史がある場合に最も高くなると考えられる。この状態は、鉱物供給拡大のために重要な地域ですでに発生しており、ペルー(銅)、モザンビーク(黒鉛)、そしてインドネシア(ニッケル)などがそうである。

02

極端な降雨や長雨は、これほどの降水量を想定して設計されていない何千もの古くからの**鉱滓池**に影響を与える可能性がある。少なくとも270人が死亡し、アマゾン流域全体の**健康と生物多様性**に害を及ぼしたブルマディーニョ災害のような失敗が、チリ(リチウム、銅)、コンゴ民主共和国(コバルト、銅)、オーストラリア(リチウム、銅、レアアース、その他)など、採掘の長い歴史を持つ場所では起こる確率が高いだろう。

03

季節外れの乾燥とそれに伴う干ばつは、**水の管理責任**と、**人権**として当然の地域住民への水の供給を難しくするだろう。社会的弱者が最も大きな影響を受け、**社会的不平等**が深刻化する可能性が高い。干ばつにより水力発電が制限されることで、カナダ、米国、ロシアなどの国々で生産と加工が阻害される可能性がある。中国の事例を見ると、水力発電の原資である水の不足は石炭で埋められる可能性が高く、ネットゼロ・エミッションの妨げになる。

異常気象下では国家レベルのリスクが増大する

こうした主に地域的な ESG の課題だけでなく、TMP では地政学的緊張や財政的な課題など、マクロレベルの気候変動の複合的影響にも焦点を当てている。

安全保障の観点からは、気候問題は脅威を倍増させる要因であり、米国・中国などの国家間の緊張を高め、あるいは（水資源を共有する）中国・インド間のそれを高める原因になる可能

性がある。また、気候が貿易の要衝、とりわけパナマ運河に影響を及ぼし、サプライチェーンに問題を引き起こし、既存の貿易摩擦を悪化させる可能性も高い。

財政面では、主要な鉱物資源生産国は大きな債務を抱えている。異常気象によって債務の増加と歳入の減少が同時に起こると、財政状態がさらに悪化する可能性がある。ザンビアが最も

よく知られた例だが、モザンビーク、ギニア、コンゴ民主共和国なども IMF の監視対象国である。また、チリや南アフリカのような中所得国も、財政面で深刻な問題を抱えていると予想される。債務救済に無策であれば、苦境に陥らせ、これらの国々が移行期に必要な量の鉱物を輸出できなくなる可能性がある。

終わりに

一回目の分析によると、気候変動によるリスクは、トランジション・ミネラルの設備と川下のサプライチェーンにすぐにも問題を引き起こす。私たちが最も懸念しているのは、深刻な物理的影響によって鉱物業界が操業能力を低下させることなく—これは最初の反応としてもっともよく見られるものだと思うが—それらのことが、既存の社会的・環境的課題を悪化させることである。

従って、各リスク対策担当者に対しては、ESG リスクに関するデータを、短期的な気候変動リスクの予測とともに活用することを提言したい。複合的リスクが最も深刻なのはどこか、主要なサプライチェーンにどのような影響を与える可能性があるか、可能であれば、阻害や損失を緩和・回避するために何をすればいいかを特定するよう助言する。一般的に、これらのリスクは的を絞った協調的な行動によって管理可能であり、鉱物業界と周辺地域の双方に大きな利益をもたらすだろう。

本稿ではトランジション・ミネラルに焦点を当てたが、同様の話は、全般的な金融リスクやエネルギー投資、生物多様性、及びおそらく最大の懸案である食料安全保障に至るまで、他の問題にも当てはまる。このトランジション・ミネラルについての分析は、よりクオリティの高い情報を構築することで、短期的な異常気象リスクの今後の課題と解決策がより明らかになるケースの一つの例に過ぎないと我々は考えている。

ルー・マンデン

TMP の創設者であり、気候リスクの世界有数の専門家。起業家として 25 年以上の経験を持ち、2009 年に TMP を設立。ウェブ 1.0 の時代にキャリアをスタート、以降 10 年以上にわたりデリバティブ市場のアルゴリズム取引システムの設計に携わる。英語、フランス語、ドイツ語、イタリア語、日本語を話し、東京在住。

ベン・ボーイ

TMP の非営利部門である TMP パブリックのマネージング・ディレクター。持続可能な開発と社会的リスク管理の専門家として知られ、OECD 責任ある企業行動指針、ブリストル大学地球科学学部、インターラーケン・グループなどの運営/諮問グループのメンバーを務める。ロンドン大学 SOAS でアジア政治学の修士号、ケンブリッジ大学で社会政治学の修士号を取得。オックスフォード在住。

ジャスティン・ムル

TMP のトランジション・ミネラルのリーダー、アナリスト。2020 年に入社して以来、主に鉱業、再生可能エネルギー、新興市場における気候の影響と機会の調査を専門としている。ケープタウン大学で環境と地理科学、社会学の学士号を、ステレンボッシュ大学大学院で持続可能な開発の PDG (大学院レベルの科目課程修了を証明する資格) を取得。ケープタウン在住。