

モンゴルにおける気候変動と 再生可能エネルギーの使用

気候変動に関するモンゴル特命大使
バトジャルガル・ザンバ

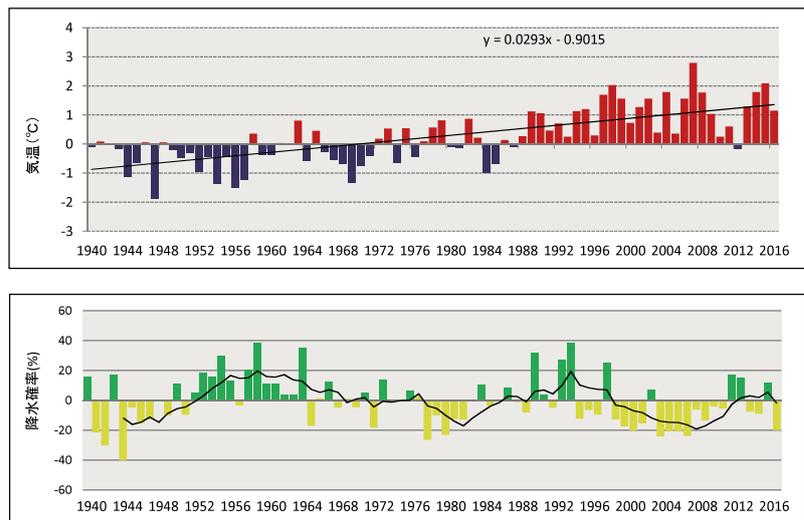
1. 気候変動の現在と将来に関する展望

1.1 現在の気候と気候変動

モンゴルの気候は厳しく、大陸の気候であり、それは、ユーラシア大陸の中心に位置し、高い山に囲まれ、世界中の海から離れて位置しているという特徴的な地理的要因によるものである。したがって、モンゴルの気候の主な特徴は、四季があまりにはっきりしている点や、気温の変動が大きい点、降水量が少ない点などである。どの気候指標を見ても、その分布は緯度や高度の尺度ではっきりと分けることができる。年間平均気温はアルタイ、ハンガイ、ヘンティヤフスグルの山間部はマイナス4℃、山間部から大きな川の谷に沿ってはマイナス6℃から8℃、草原から砂漠の地域は2℃程度でゴビ地域南部では6℃である。年間降水量は、高山帯では400mmを超え、ハンガイ、フスグル、ヘンティヤの山間部や、東部のハルハ川流域でも300mmから400mmの降水量、モンゴルアルタイや森林と草原の地域では250mmから300mm、草原地域では150mmから250mmで、ゴビや砂漠地域では50mmから150mmである。総降水量の85%は4月から7月にかけて降り、50%から60%は、7月から8月にかけて降る(MEGDT¹, 2014)。

モンゴル全地域48カ所の観測所で測った1940年から2016年の地表付近の気温と、その年間平均値は、2.26℃上昇しており、その上昇は域内全体で起こっている(図1)。温暖化傾向は、山岳地域でより高く、草原やゴビ地域では低い。この77年間で最も温暖化が進展した10年間は2000年からの10年間である(MET,

図1 年間平均気温と平均降水量ならびに1961-1990年ベースラインからの乖離の推移



出所: モンゴル環境観光省 (Ministry of Environment and Tourism ; MET) (2018)

2018)。

モンゴルで降水量が最も多いのは温暖な季節であり、冬場には3%以下の降水量が雪として観測されるのみである。平均すると年間降水量に関しては過去77年間、目立った変化はなく、7%の降水量減少しか観測されていない。しかし、冬場の雪は増加傾向にある。1940年以来22%増加しており、1961年からの期間は40%の増加率にまで大きくなった。1971年から2015年にかけて氷点下が観測された日は、15日減少し、夏日は19日増加した。月間最高気温と一日の最高気温は、2.6℃上昇しており、月間最低気温は、0.3℃上昇した。温暖化の度合いを測る指標として用いられるWSDIの指標も13日まで増加した。1940年以来干ばつが観測されるようになり、特に連続して干ばつが見られる年が2000年以来繰り返し観測されている。もし夏に激しい干ばつに見舞われ、その年の冬場の

状態も厳しいような状態であるならば、多くの家畜の損失が急速に増えることになるが(Batjalgal, 2000)、現地の言葉ではこれをゾドと呼ぶ。既存研究では、1990年代以降ゾドの増加傾向がモンゴルで見られている。1999年から2000年、2001年から2002年、2009年から2010年にかけてのゾドは特に厳しいものであり、その被害と損失はより大きいものとなった。(GDPの10%以上に相当する被害)。

1.2 将来の気候変動

モンゴルにおける冬、夏、年間の平均気温と降水量の将来予測は、2016年から2100年を対象に、温室効果ガスの高排出シナリオ(RCP8.5)²、中排出シナリオ(RCP6.0)、低排出シナリオ(RCP2.6)を想定して、10個の大気一般循環モデル(GCM)の結果をアンサンブル平均したものが推定された(MET, 2018)。気候変

¹ [訳者注] モンゴル環境グリーン開発観光省 (Ministry of Environment and Green Development and Tourism)。

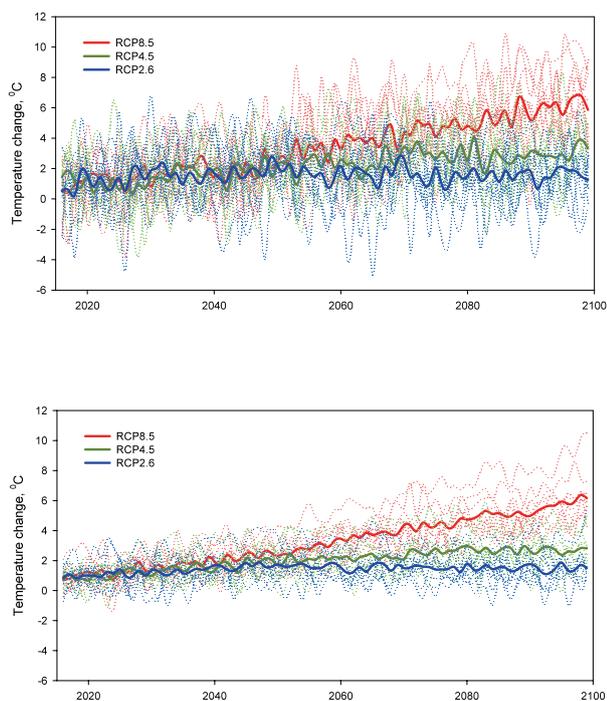
² [訳者注] RCP は代表的濃度経路を表す言葉で、ここではシナリオ上の排出の大きさを表す。

動の推定結果は、今世紀の前半までは、どのシナリオでも同様の推移を示しているが、その後年を経るにしたがって徐々に異なる結果を導く(図2、図3)。近い将来を含む2016年から2035年にかけては、推定された気温変化は2.0から2.3℃の幅に

あるが、2081年から2100年のさらに先の将来では、それぞれの RCP シナリオによって2.4から6.3℃の予想がなされている。降水量の変化については、冬場の雪は増加することが予想され、夏場の雨はほとんど変化がないという予想で、すべてのシナリ

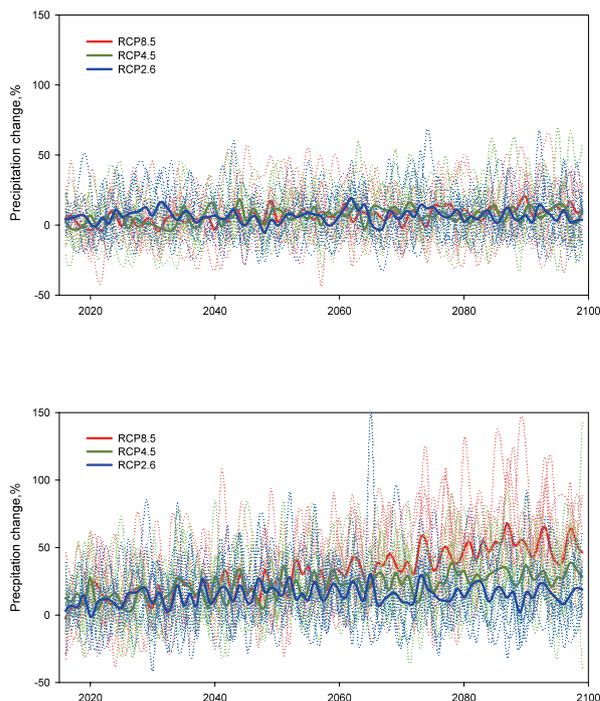
オで10%以下の増加がみられる。冬場の雪については、シナリオによって近い将来では10.1から14.0%の増加がみられるが、その後の予測では、それぞれのシナリオごとに15.5%から50.2%の増加が示された(表1)。

図2 冬場(a)と夏場(b)の気温変化(2016-2100年)



出所: MET (2018)

図3 冬場(a)と夏場(b)の降水量変化(2016-2100年)



出所: MET (2018)

表1 温室効果ガス排出シナリオ別モンゴル気候の季節変動(10モデルのアンサンブル平均)

温室効果ガス 排出シナリオ	季節	近い将来 (2016-2035)		遠い将来 (2081-2100)	
		気温変化 (°C)	降水確率の 変化 (%)	気温変化 (°C)	降水確率の 変化 (%)
RCP2.6	Winter	2.3	10.1	2.5	15.5
	Spring	2.3	9.2	2.4	11.7
	Summer	2.2	6.2	2.5	5.1
	Autumn	2.1	7.6	2.4	7.6
RCP4.5	Winter	2.1	12.3	3.7	28.7
	Spring	2.0	7.8	3.4	17.4
	Summer	2.1	1.1	3.5	7.8
	Autumn	2.0	8.1	3.4	11.7
RCP8.5	Winter	2.2	14.0	6.3	50.2
	Spring	2.2	9.8	5.6	28.6
	Summer	2.2	2.4	6.0	8.7
	Autumn	2.2	6.4	6.1	24.1

出所: MET (2018)

2. 気候変動の影響と脆弱性、 適応に関する評価

2.1 地表水における現状の変化

1978年以来、河川の年間流量は変化しており、1993年の最大値である78.4立方キロメートルまで徐々に増加した。その後1996年以来、低流量の時代が長く続き、2002年には16.7立方キロメートルの最小値にまで達した。2015年時点で総流量は22.7立方キロメートルであり、長期平均値よりも11.9立方キロメートル少ない(図4)。

かつて4296の湖があり、地表の1万5514.7平方キロメートルが湖水で覆われていたが、これは1940年代にとられた大気の写真を基にした縮尺10万分の1地形図から得られた数字である。湖面のデータは、LANDSAT 衛星、ETM 衛星、TM 衛星とL8衛星画像から得られたもので、このデータによると2015年に湖の数は3464となり、地表の湖水面積は1万4312.6平方キロメートルとなっている。1940年データを基準とすると、湖の総面積は2015年には7.8%にあたる1201.9平方キロメートル減少し、832の湖が消え去ったことになる。

個々の大氷河の領域を詳細に比較するために、別のデータソースを用いる。これは、1940年台に作成された地形図では大氷河領域が過剰推定されている傾向にあるためである。氷河領域は42の氷山で構成されており、1940年代の縮尺10万分

の1地形図では535.0平方キロメートルとされている。LANDSAT 衛星によると氷河領域は、2011年には389平方キロメートルであった。つまり2000年から2011年の期間中に13.75平方キロメートルの氷河が消失したことになる。これらのデータを参照すると、過去70年間で氷河領域は29.9平方キロメートル消失した可能性があるといえる。氷河領域は、1990年代以降消失と縮小を続けており、過去10年間で最も大きな浸食が発生した(Davaa, 2015)。

2.2 水温に関わる気候変動のこれからの影響:

平均水温は1986年から2005年期間の温度と比較して、ほぼすべてのGCMで上昇することが予測されている。GCMにより示された年間平均降水量は1986年から2005年期間の平均と比較して、わずかな増加として予想されている(図3)。

開水面の年間平均蒸発量(4月から10月)は、将来における降水量のわずかな増加をはるかに上回る増加として予想されている。

河川流域の水収支だけを取り出して予想したものを参照すると、2016年から2035年の期間においては、降水量にはほとんど変化がなく、流失量もほとんど変化していないという予想がなされている。しかしながら、開水面の年間平均(4月から10月)の蒸発散の劇的な増加量は水収支不均衡の発生を示唆しており、河川流域に旱魃が起こる可能性がある。

2.3 森林被覆の変化

近年モンゴルにおける森林の被覆は気候変動と人為的理由により明らかに変化している。直接的には伐採、森林火災が頻繁な発生、害虫の大量発生や鉱業に起因する。森林調査によるとモンゴルの森林面積は、2015年には1230万ヘクタールと推定されているが、1999年には1310万ヘクタールだった。これは、80.6万ヘクタールの減少を意味しており、6.6%に相当する(およそ年当たり5.04万ヘクタールの減少で、0.41%の減少に相当)。1999年から2015年の統計によると、この国では1110万立方メートルの木が伐採されている(330万ヘクタールの森林面積に相当)。

森林火災による影響は、2010年から2015年に65.08万ヘクタールの焼失面積に相当し、これは、焼失の変化率にして38.1%(年当たり13万ヘクタールで、7.5%の焼失に相当)を意味する。また、森林領域は害虫により、同期間に7.6万ヘクタールの森林面積、127%の影響を受けている(MET, 2017a)。

森林火災の件数と火災の影響を受けた範囲の大きさが春の乾燥(夏の干ばつ状態)と強い相関をもつという研究結果が示されており、相関係数は0.62に上る。

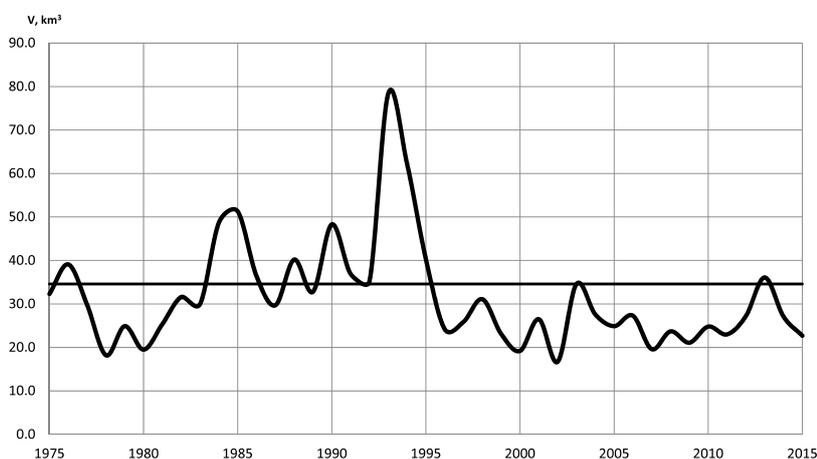
低地では、森林減少がみられる。一方で、高地においては、永久凍土の融解や、生物の生育期間の長期化、それに伴う光合成の効果により蓄積された熱の効果により、森林境界の上方シフトが見られる。

GCMのいくつかが示すところによると、平均的な森林の分布は4-6%程度減少するとみられる。例えば、いくつかのヨーロッパアカマツのような種の減少率は、近い将来4%程度に増加するとされ、シラカンバのような種は2%程度に増加するといわれている(MET, 2018)。

2.4 永久凍土の分布

モンゴル北方と高山地域は、広範囲の永久凍土や点在型のものが存在しており、それは、アルタイ、ハンガイ、フブスグル、ヘンティの山岳地域に川の谷あいに沿って点在している。最近の永久凍土分布の研究によると、1970年代には約63%が点在型だったが、現在では29.3%が点在型となっている(Jambaljav et al., 2016)。

図4 モンゴルの年間河川総流量の変化(km³)



出所: MET (2018)

永久凍土の温度はこの10年間毎年0.04から0.29℃上昇し続けている。永久凍土に有る井戸の気温は、ある研究によるとここ10年間で毎年0.15から0.22℃上昇しているものの、ダルハッド窪地にあるモングッシュ乾燥地帯にある井戸の気温は、10年で0.29℃上昇した。永久凍土の変化に関する将来予測は、TTOP（永久凍土の上面気温）モデルにより推定される。

地域気候モデル（RegCM4）と欧州地域—ハンプルグ大気モデル（ECHAM5）の結果から、世界の永久凍土の減少は、2016年から2035年の間には4.61%となり、それらの50%以上が広域の永久凍土の地域であるとされている。

総じて、これら2つの研究結果を踏まえると、モンゴルの永久凍土は、2016年から2035年にかけて16.46%から18.31%減少し、そのような減少はその後も継続し、2046年から2065年にかけて33～61.23%の減少、2080年から2099年にかけては74～94.7%それぞれ減少することが示された（MET, 2018）。

2.5 放牧地で観測されている変化と予想される変化

モンゴルの国土の約82%が自然の放牧地であり、家畜の主要な供給源であるとともに、世界で最大の草原生態系を確立しており、それが生来、固有の姿を残している場所なのである。しかしながら、衛星画像によると明らかにモンゴルの地質は劣化が進んでおり、国土は人的影響と気候変動の効果に害されているとみられている。モンゴルの砂漠化・地質劣化の調査結果によると、76.8%の国土は砂漠化と地質劣化の影響を受けているとされている（MET, 2017a）。放牧地劣化の要因は過放牧、つまり、家畜の数や旱魃、乾燥により牧草地の許容量を超える放牧がおこなわれてしまうことによるものである。

モンゴルの地質や牧草地の将来の状況は、RegCM4-ECHAM5とRegCM4-Hadley グローバル環境モデル（HadGEM2）により算出された予想データを基に、「センチュリーモデル」により推定されている（MET, 2018）。

牧草地に対する負荷が大きい状態の下でのシミュレーション結果を使うと、どのパ

ターンのモデルでも牧草が弱り、植物の成長、生育を妨げ、根を弱らせるという結果を示した。ここで述べたすべての事柄は、牧草地の劣化と砂漠化のさらなる進展を伴うものである。地質と植物生育の減退の進展は、牧草地の過放牧と関わるものである、つまり、森林—草原地帯や草原地帯における気候変動要因を示すものである（MET, 2017a）。

近年、害虫や害獣の広域的繁殖が、旱魃の発生や気候変動の効果を助長するなどの被害を見せた（MET, 2017b）。例えば、アレチネズミとバッタの大発生が草原地域で起こり、2000年から2002年にかけての旱魃時期に草原地域に明らかな被害をもたらした。さらに、この害虫の大繁殖は、耕作地域にも広がり、作物の損害をもたらした。この期間の収穫量の減少をもたらした。気候変動下における害虫被害の評価について、バッタの分布がRegCM4-ECHAM5とRegCM4-HadGEM2モデルの計算結果をもとに推定されている。評価によると、バラベンシスグラスホッパーの大繁殖が今世紀初頭にわずかな環境評価の悪化をもたらす可能性があり、その後バッタの繁殖により気候変動効果の悪化をもたらすことが予想される。

2.6 生物多様性に対する影響

モンゴルの遺跡エリアと12の哺乳類、鳥類、昆虫類が息息するエリアについて、1986年から2005年の期間を基準に、2016-2035年、2046-2065年、2080-2100年の将来予測をRegCM4-HadGEM2とRegCM4-ECHAM5により推定した調査結果がある。この結果が示すのは、ほ乳類、鳥類、昆虫類の三つについての生育領域は、個体数が減少するだろうということである。

2.7 畜産に対する影響

家畜の数は1940年から20世紀末まで非常に安定しており、2000万から2500万頭の範囲だった。その後1990年代から始まった畜産部門の民営化により、2017年には6000万頭というそれまで達したことのない水準にまで急激に増加した。伝統的な家畜の群れの種別は、過

去20年間で明らかに破たんした。現在全体数に占めるヤギの数の比率は、40%以上である。カシミア市場の需要増加に伴い、ヤギの数は明らかに増加し、これにより明らかに経営者の所得が増加した。背の高い牧草を要する牛の数は、1960年から1990年にかけて総数の9.7%ほどであったが、1999年から2000年のゾドの時期の後には6.6%にまで減少した。冬季がより厳しくなった。これは、冬季の降水量が雪という形で増加したためであり、より頻繁により厳しい自然災害に見舞われるようになったためである。寒冷期の雪と吹雪は、畜産業に対して大きな負荷となっている。

将来の気候変動予測によると、旱魃と厳冬（ゾド）は、モンゴルでより進むとみなされている（MET, 2018）。近い将来に予想される家禽の損失割合が、中程度の温室効果ガス（GHG）排出シナリオ（RCP4.5）のもとで、将来の旱魃、厳冬、ゾドに関する統計指標と家禽損失数のシミュレーション値との関係から推定された。このシミュレーション値は、過去のモンゴルの気候をシミュレーションするのに最も良いと見込まれる10個のGCMの結果のアンサンブル平均から算出されたものである。これによると年初に計測された家禽数の損失率は今世紀の中期では5.5%となり、世紀末には7.6%にまで達すると予想される。つまり家禽の損失速度は今世紀の中期までに約50%増加することを意味しており、いいかえると現在の家畜損失率が倍増することを意味する。家畜の損失の明らかな増加は、家畜の再生産に対して悪影響をもたらした。これは経営者の生計と食糧供給に直接関連するものである。

過去20年間、モンゴルのほとんどの地域で、気候変動により植物の生産性と生育が弱まった。国土の中部、もしくは東部の西側地域のような場所では、1961年から1990年の間に5～13%減少した。さらに気候変動は、放牧と家禽の体重にも好ましくない影響をもたらしている。1980年から2015年にかけてモンゴルの家禽の体重は明らかに減少傾向にある。測定結果は、家禽の体重の変動が近年明らかに拡大していることを示した。食肉や羊毛の量は、夏から秋にかけての家禽の体重と

連動して、減少傾向にある。同様の傾向は、羊や山羊の計測結果にも表れている。

気候変動に関わる畜産の最大の問題は、水資源の賦存量変化に伴う牧草地における水供給の問題である。ここでいう水は飲料水と環境用水の両方を指す。明らかな牧草地の消失は、特にモンゴル西部では山岳地帯の水河消失によるものと予想される。

2.8 小麦生産に対する影響

小麦収穫予想は、RCP8.5のシナリオを採用した地域気候変動モデル RegCM4-HadGEM2と RegCM4-ECHAM5のシミュレーション結果をもとに、農業技術移転決定支援システム (DSSAT) 4.6版のモデルで推定されている。小麦の生産変化推定は、基準となる気候の小麦生産状態と比較して、RCP8.5シナリオの場合に2020年、2050年、2080年の平均的な小麦生育状態がどうなっているかで評価している。モデル分析の結果によると2つの地域気候モデル (RegCM4-HadGEM2と RegCM4-ECHAM5) により予想されたDSSAT4.6版が推定した小麦の生産状況は、RCP8.5シナリオでは2020年、2050年、2080年にそれぞれ9%、18%、37%減少するという予想である。この結果については、現在の雨量を基準に考えられている作物量が、不確実性を伴う点についても注意が必要であり、現行の食糧生産推移が継続するかの予想も雨量の変化により左右される。他にも伝統的な灌漑農作地に関連して懸念があり、それは水河の恩恵により食糧や野菜が安定的に生育、生産できているという点である。現状の水河の消失とその予測は、灌漑農業にとって不利なものであり、それは、この国で百年以上の伝統的な農法を続けてきた経験を持つ農家が農業を放棄する可能性を意味する。これは各地域の社会に大きな負の影響をもたらすことになると考えられる。

2.9 自然災害への影響

過去10年間モンゴルでは、さまざまな自然災害に見舞われ、社会生活、経済部門に対して深刻な被害をもたらした。そのほとんどが大気の変化によるものである。

この国では、自然災害を社会経済へのリスクという点で順位付けすると、旱魃、ゾド、森林・草原火災、吹雪、洪水、厳寒が主なものとして考えられる。1989年以降の統計によると、モンゴルでは毎年49の待機の変化に起因する異常気象、災害である。過去20年間を対象とすると最初の10年では毎年約30の異常気象、自然災害が観測されたが、10年目以降は2倍に観測数が増えた。モンゴルで起こった異常気象、災害の中で、強風や突発的洪水・雷雨やスコールは最も頻繁に起こる災害とみなされており、それぞれ全体の22.4%、22.4%、15%を占める。2004年から2015年の間にかけて308の人々が異常気象や自然災害により犠牲になったが、その40.0%が強風に、24.0%が洪水、16%が雷による犠牲者である。モンゴルでは豪雨、洪水、スコールや強風、雹、雷が急激に増加しており、危険や被害につながるようなケースが20年間で年あたり2倍の被害をもたらしている (MET, 2018)。

GDP に対する災害損失の比率は、2000年から2001年の間では7.5-11.5%であり、一国の経済が深刻な損害を受けた。2010年、約23%の家畜がゾドにより失われたとき、その自然災害による被災額はGDPの6.22%であった (前年のGDPに対するパーセンテージ)。

今世紀中期の大気の変化による自然災害の頻度は、どの気候変動シナリオに従っても23-60%増加すると予想されている。旱魃やゾドの将来評価が、その予測指標を推定することで行われている。この予測指標は、グローバル気候変動モデルによりモンゴルの気候将来予測にも用いられている月間気温、降水量のデータにより規定される代表的な夏季、冬季の状態を表すものである (Gomboluudev, 2014)。温室効果ガスの中排出シナリオの場合旱魃の発生は5-15%増加し、高排出シナリオでは5-15%増加すると予想されている。比較的增加幅が大きい (15%の増加を示す) のは、2020年までと2050年までの南部の予想結果と、中排出シナリオに基づく2080年の中央部の予想結果であった。高排出シナリオでは、2020年代に西部と東部での15%の増加が予想された。さらに2050年と2080年にはそれぞれ20-

25%と30-45%の増加が予想された。

ゾドの頻度は、中排出シナリオで、5-20%の増加が、高排出シナリオで5-40%の増加が指摘されている。やや大きな増加 (15%) が中排出シナリオの際に今世紀末に東部と北部で観測されることが予想される一方で、より顕著な増加 (40-45%) がモンゴル北部で予想される。

2.10 公衆衛生への影響

気候変動に関連する熱波や大気汚染、洪水、旱魃、水不足、あるいは農業への気候の影響などは直接、間接の経路を通じて国民の健康に影響を及ぼす。気候変動の影響は、呼吸器・循環器系の疾病や、ぜんそく、下痢性疾患、栄養失調、感染症や他の伝染病の国民の間での増加、特に子供の間での増加を伴う可能性がある。潜在的にはあるが新興感染症や再興感染症が増加している可能性がある。呼吸器系の疾患は、熱波に起因する可能性も指摘されている (Natsagdorji, 2008)。森林に生息するダニがダニ媒介性脳炎の伝染を加速させたという事実もいくつか指摘されている。国立人獣共通感染症センターの調査結果によると、2005年から2015年にかけて7人の人命が上述の感染症で失われている。この関係から、地球温暖化のもとで森林のダニを感染源とするダニが媒介する疾病の罹患率が増加していく可能性が高くなることが予想される (MET, 2017b)。これらに関連する予想結果として、ダニ媒介脳炎の感染源の数は、今世紀の中盤までに80%増加し、今世紀末には2倍に増加するかもしれない。

2.11 気候変動に対する総合的な脆弱性とリスクの評価:

生態系に関わる自然的要素、例えば、水資源、森林、永久凍土、野生動物、放牧地や自然災害、さらに社会・経済に関する耕作地、畜産業や公衆衛生などといった要素から構成される気候変動の評価指標は、グローバル、あるいは地域の気候変動動学モデルを用いて行われてきた。

この評価においては、2046年から2065年までの間の多部門の評価結果が使わ

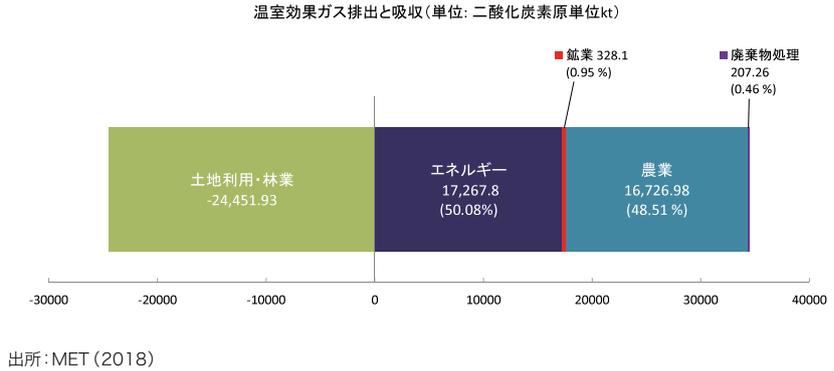
れてきた。これは、RegCM4-ECHAM5とRegCM4-HadGEM2を用いて予測されたものを基準としたものである。そこでは環境や社会・経済部門における現状の脆弱性、リスクに関する指標がモンゴルで上昇していることが示された。総じて、現状の評価は「脆弱」というクラスであり、2046年から2065年にはその評価が「相当危険」に変わるだろうと予想される。気候変動の予想によると、脆弱性、リスク評価の指標はモンゴルのすべての地域を対象にして上昇していくと考えられている(MET, 2018)。

3. 気候変動への対処と緩和のための政策・戦略

3.1 問題に対する適応

適応と緩和の対策は、「グリーン発展戦略」などの政策に一定程度反映されている。同戦略は環境と社会・経済活動における調整に関連するものである。モンゴルにおけるほとんどの経済活動は、肥沃な土壌、放牧地、水資源などの自然資源の開発である。地理的変容に伴い、牧草地の生育の変化や耕作機会の変化が見られ、ある特定の地域においては、作物の生育の改善もみられる。しかしながら、ほとんどの農業生産者は、気候変動への対処のための相当の投資を必要としていて、そうしなければ甚大な損失を受けるだろう。水資源に乏しい地域における水資源競合の逼迫化に関連するリスクや、水に関連する地域社会の厚生への影響のリスクが存在している。したがって政府の気候変動対策は、以下の主要な問題に目を向けなければならない(MEGDT, 2015)。一つは畜産業であり、伝統的な生産活動と現代的なノウハウを組み合わせた方法により付加価値率の高い生産物の生産を拡大していくことが必要である。二つ目は耕作農業であり、国内需要を確実に捕捉することが求められる。これは、気候変動の悪影響を緩和し、よい影響を活用しながら、国内の食料と畜産飼料の確保が求められるということを意味している。三つ目は水資源であり、水資源に関わるリスクの低減が必要となる。これには、水質の保全や持続可能な国民生活、製造業、農

図5 モンゴルの温室効果ガス排出構成(2014年)



業への水供給を確保することと洪水被害の予防が含まれる。四つ目は森林資源で、気候変動の悪影響を減らし、よい影響を効率的に活用するための林業における人材の開発と育成である。最後は公共衛生であり、国民が免疫を持たない外部からの感染源による疾病の侵入のように、気候変動によりもたらされる公共衛生を害する要因を排除するような対処能力の改善と強化を必要とする。

3.2 温室効果ガスの排出軽減策

温室効果ガス排出削減目標案(INDC)に関連して行われた予測によると、すべての経済主体のエネルギー需要の総量は、2030年までに2.7倍に増加すると予想されている(MEGTD, 2015)。エネルギー部門の温室効果ガス排出は、総量の半分に相当する。二番目に大きい排出源は農業部門であり、エネルギー部門に迫っているが、製造業とエネルギーロスの割合は約1%となっている(図5)。もし水力発電や、風力、ソーラー電源などの緩和策が2030年までに実行されれば、温室効果ガス排出総量は二酸化炭素原単位37308 ktから、33431 ktに削減されるとみなされている。政府による施策はエネルギー損失率を7.8%まで低下させることを目指しており、2014年にロスしている分の5.4%分に相当する。エネルギーロスは高効率の照明装置の導入や、需要サイドがエネルギー消費の計画を管理することで減少させることが可能である。

非再生可能エネルギーが大多数を占めるエネルギー部門は、温室効果ガス排出に対する寄与が最大である(MET,

2018)。エネルギーの最適な構成を確立することは、電力効率を改善し、温室効果ガスの排出を削減する。先進技術の導入と送電ロスの削減は、近い将来における実施方針が示されている。再生可能エネルギーの割合を総電力の30%にまで引き上げるというプロジェクトの実行と、小型水力発電、風力発電や太陽光発電システム、地熱発電の導入が、統合型エネルギーシステム全体の効率性に大きく貢献すると考えられる。熱供給については、3つに大別されるシステムがあり、地域熱システム、中小規模熱システム、そして低圧熱水ボイラである。小規模熱システムと低圧ボイラの導入が減少する中、地域熱供給システムが注目を集めており、このことは熱供給効率の改善とより重要な温室効果ガスの排出についても削減すると考えられる。石炭は使用燃料の96%を占めている。石炭は安く豊富に存在しているが、環境への悪影響が避けられない。熱水生産のための石炭燃焼技術とコールベッドメタンの使用は明らかに有害物質や温室効果ガス排出を削減する。断熱技術の導入も主要な電力消費削減の要素と考えられ、エネルギーの節約と究極的には温室効果ガスの排出削減に寄与する。

製造業からの温室効果ガス排出は、鉱業・採掘業の発展に伴い増加している。これに対して、例えばセメントの乾式製造の導入など温室効果ガス排出削減のための対策も取られている。

家畜部門においては、「持続可能な牧草管理の実施」のような牧草地帯の保全に関する技術が牧草地劣化の傾向を抑えると期待されている。排出削減のため

図6 モンゴルの温室効果ガス排出収支(1990-2016, 単位: Mt CO₂e)



出所: MET (2018)

の方法は、家畜生産の増加率に歯止めをかけるというものであり、それはつまり地域社会で所得を生み出す方法を見直し、現代的な技術の使用と国際市場への参入により高い付加価値生産を実現することを要する。

モンゴルでは、廃棄物管理が不十分であり、ほとんどの産業廃棄物はそのままとなっているというのが今まで変わらない方法である。これに変わり、固形廃棄物からのメタン系の利用やごみ燃焼によりエネルギーを生み出す技術の導入は、管理をより効率的にする。一方で固形廃棄物の収集や分別は、人の生活圏の位置や地方の生活様式の多様さから主要な課題である。こうした観点から、廃棄物の管理においては、最大限再利用する、伝統的な修繕技術を活用する、現代的な技術を模索するということを原則として、課題に向き合うことが求められる。

モンゴルは低炭素発展モデルを追求し、温室効果ガス収支ゼロを将来達成するための、高いグリーン発展戦略(GrDP)の目標を設定している。近年完成したモンゴルの温室効果ガスインベントリ(排出一覧表)と隔年報告書(BUR)は、この目標設定が実現可能であることを示している(図6)。そのためには、モンゴルが過放牧状態を解消し放牧地を管理することができ、森林火災や虫害、違法伐採などを含む他のあらゆる要因から森林減少を食い止めることができることが条件である。

4. 温室効果ガス排出削減とエネルギー部門の発展

4.1 温室効果ガス排出削減の規制制度

モンゴルの主要なエネルギー資源は石炭であり、1730億トンの賦存量があると

推定されている。石炭の火力発電は2015年時点で電力総供給量の96.1%であり、総電力量は5541.74GWhである(MET, 2018)。再生可能エネルギーを増やし、エネルギー効率を高めることで温室効果ガスの削減を目指す規制はかなりの数が存在している。「モンゴルのエネルギー供給における2030年の持続可能な発展目標」は、2030年までにモンゴルの国内電力需要を100%国内電源で供給すること、国内電力供給の30%の供給を再生可能エネルギーによるものとする目標を示している。

再生可能エネルギー使用による軽減シナリオを取り入れた温室効果ガス排出量が、長期エネルギー代替計画(LEAP)モデルを用いて計算されている(表2、図7)。

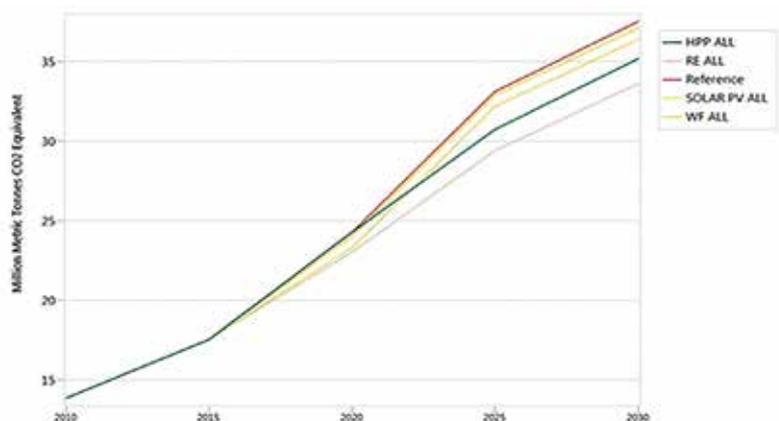
表2は、再生可能エネルギー軽減シナリオでは、前述のように2030年までに、エネルギー部門が温室効果ガス排出を二酸化炭素原単位37308kt(参考シナリオ)から33431ktまで減少させ得ることを示している。

表2 再生可能エネルギーによる軽減シナリオにおける温室効果ガス排出量 (単位: 二酸化炭素原単位 kt)

二酸化炭素排出シナリオ	2010	2015	2020	2025	2030
参考値	13,891.0	17,403.0	24,153.0	32,964.0	37,308.0
水力	13,891.0	17,403.0	24,153.0	30,579.0	34,959.0
太陽光	13,891.0	17,403.0	23,881.0	32,752.0	36,919.0
風力	13,891.0	17,403.0	23,180.0	32,031.0	36,202.0
再生可能エネルギー総計	13,891.0	17,403.0	22,907.0	29,230.0	33,431.0

出所: MET (2018)

図7 再生可能エネルギーの軽減シナリオへの寄与 (温室効果ガス排出量, 単位: 二酸化炭素原単位kt)



出所: MET (2018)

モンゴルの「再生可能エネルギー法」は、2007年に承認され、2015年に改正された。その目的は、再生可能エネルギーを電源とする発電の規則を整備するものであり、再生可能エネルギー由来の電力が選ばれるような法的枠組みを設定することにより民間資金が発電プロジェクトに流れるよう促すことである。エネルギーの活用において貢献が期待されるものの一つは、ビルからの排熱ロスである。「グリーン発展政策」は2030年までに40%の排熱を削減することを目指しており、そのために既存の建築物の断熱や新しいエネルギー効率基準を新規の建物に適用する。「モンゴル省エネルギー法」は、2015年11月26日に国会で承認された (Bolor-Erdene B, 2018)。この法律は大口の電力消費者にエネルギー監査と報告を義務付けると同時に、その計画と活動のエネルギー消費を削減させるものである。総電力の70%の消費に相当するモーターの分野において、エネルギー効率の高いモーターの導入が期待されており、これにより明らかな省電力と潜在的な電力消費の節約が20%であると期待されている。

4.2 統合的な電力発展政策における再生可能エネルギーとその動向：

モンゴル中部の電力一生産と消費は、この地域の人口集中、経済活動の活発さからみて、国の将来の電力生産一発展の姿を反映するものである。2018年末のモンゴルの中部の総電源供給能力は、1255.8MWに達する。そしてその87.2%にあたる1095.8MWは火力発電によるものであり、残りの12.74%にあたる160MWは風力発電と太陽光発電である (Myagmarsuren, 2018)。同様にこの地域の電力システムに対する電力需要は、年々増加している (表3)。同時に再生可能エネルギーも増加している。例えば2014年にはわずか2.25%だったものが、国会で、2020年までに20%に、2030年までに30%にという目標値を伴う「グリーン発展政策」が承認された。しかしながら、中部地域についてこの目標は表4に示されるように早期に達成されそうである (2019年にはおよそ22%になる)。

表3 モンゴル中部電力システムの主な需要

年次	モンゴル中部の電力需要合計 (1,000GWh)	増加分 (1,000GWh)	成長率	再生可能エネルギー (1,000GWh)	再生可能エネルギーのシェア
2013	5136.72			52.30	1.02%
2014	5451.37	314.65	6.13%	122.46	2.25%
2015	5512.26	60.89	1.12%	149.01	2.70%
2016	5650.51	138.25	2.51%	157.50	2.79%
2017	5965.42	314.91	5.57%	173.44	2.91%
2018	6196.8	231.38	3.88%	345.00	5.56%
2019	6384.57	187.77	3.03%	590.00	9.24%
2020	6635.08	250.51	3.92%	670.00	10.1%

出所: Bavuudorj (2018)

表4 中部地域のエネルギーシステムの供給容量

年次	モンゴル中部のエネルギー供給容量 (MW)	再生可能エネルギーの供給容量 (MW)	再生可能エネルギーのシェア
2013	902.3	50	5.54%
2014	952.3	50	5.25%
2015	954.8	50	5.24%
2016	1057.8	50	4.73%
2017	1180.8	120	10.16%
2018	1255.8	160	12.74%
2019	1445.8	315	21.79%

出所: Bavuudorj (2018)

4.3 モンゴルにおける再生可能エネルギーにまつわる現状の課題：

現状について、Bavuudorj (2018)によるとエネルギー規制委員会が承認した太陽光発電設備は容量727MW相当の29件、風力発電は502.4MW相当の5件、他の再生可能エネルギー (バイオマスなど) は299.4MW相当の5件である (表5)。合計39件が容量1528.8MW相当の再生可能エネルギー発電設立の特別許可を得ている。こうした民間の投資が再生可能エネルギーに向くようになったきっかけは、2015年の再生可能エネルギー法の国会での成立である。一方で現状の集中型エネルギー供給グリッドのシステムは、風力や太陽光など安定供給に向かない電力の参入に合わせて (減少して) いくわけにはいかない。

モンゴル中部地域のエネルギーシステムの冬のピーク時は、100MW相当のエネルギー輸入を要している。現状、再生可能エネルギーによる発電は100MW分稼働している。再生可能エネルギーは断続的なエネルギー源であり、約100MWの幅で変動する不安定な電源である。現在2機の風力発電と2機の太陽光発電が

稼働しているが、日中の計画値から70-90MWの変動をしている。風力発電は、夕方のピーク時の間は計画上80-60MWの変動をしている。他の問題として送電容量がある (Bavuudorj, 2018)。例えば「チョイルーアイラグーサインシャンドーザミンウド」の110kV 空中送電線は AC-150/24型導線であるが、「アイラグーサインシャンドーザミンウド」の空中送電線は AC-120/19型導線が使われている。夏季の送電容量は「チョイルーアイラグ」110kV 線を使って60MW、「アイラグーサインシャンドーザミンウド」110kV 線を使って50MWである。冬季の「チョイルーアイラグ」110kV 線は80MWである。夏季の「アイラグーサインシャンドーザミンウド」地域の電力需要は8MW、冬季は18MWである。調査の結果、ナランテグの15MW 太陽光発電プラントとサインシャンド55MW 風力発電の夏季の送電容量は、2018年から2019年にかけてすでに上限に達すると予想されている。

このような状況はエネルギー大臣とエネルギー規制委員会に対する再生可能エネルギー法改正の圧力となっており、再生可能エネルギー支援補助の在り方を変え

表5 再生可能エネルギー発電の建設の特別許可

エネルギー源	特別許可の数	容量 (MW)
1 風力	5	502.4
2 太陽光	29	727
3 水力	3	217.4
4 その他	2	82

出所: Bavuudorj (2018)

表6 電力買取協定

エネルギー源	PPA の数		容量 (MW)	備考
	NETC	NDC		
1 風力	6	1	454.4	クリーンエネルギー有限会社とクリーンエネルギーアジア有限会社あわせて100MWの総電源容量は、商業利用を開始している。
2 太陽光	3	16	483	ソーラーパワーインターナショナル有限会社とエヴリディファーム有限会社は商業利用を開始している。
3 水力	-	2	124.6	チャージェイト水力発電プラント、ウランバートル水力ポンプストレージ
4 その他	-	1	32	廃棄物加工電源プラント
Total	9	20	1,094	

出所: Bolor-Erdene (2018)

注: PPAはPower Purchase Agreementの略、NETCはNational Electricity Transmission Centerの略、NDCはNational Distribution Centerの略である。

表7 現状の再生可能エネルギー補助の水準

エネルギー源	特別許可の数	容量 (MW)	売電量 (1,000GWh)	再生可能エネルギーの支援補助 (トゥグルグ/KWh)
1 水力	3	217.4	715.1	22.64
2 風力	5	502.4	631.0	32.71
3 バイオマス	1	32.0	60.0	3.19
4 蓄電	1	50.0	53.1	2.82
5 太陽光	29	727.0	1,133.7	63.13
合計	39	1,528.8	2,592.9	124.49
既存の再生可能エネルギー支援補助 (トゥグルグ/KWh)				11.88
支援補助の水準 (トゥグルグ/KWh)				136.37

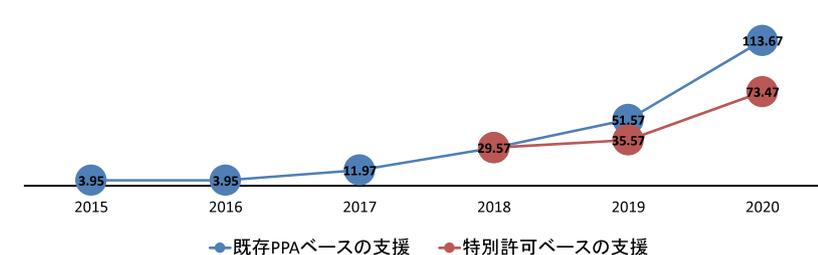
出所: Bolor-Erdene (2018)

図8 再生可能エネルギー補助



出所: MOE (2018)

図9 既存のPPAと予定されているプロジェクトについての再生可能エネルギー補助



出所: MOE (2018)

ようとしている。

特別許可を得たすべてのエネルギー源が商業目的で稼働された場合、再生可能エネルギー支援補助は136.37トゥグルグ/KWhに達することとなり、これはエネルギー政策の財政的な持続可能性にとっての重大な問題となる。この点について再生可能エネルギーについての法改正を求める議論、特に補助金の水準については、供給者と消費者双方にとって注目を集める議論となっている。こうした現状を反映するいくつかの例示として、電力買取協定と、補助金の現状水準について表6と表7に示した。図8と図9は補助の水準とその再生可能エネルギーとの連動について示したものである。

5. 結論

気候変動の新たな解決策として、再生可能エネルギーはその奨励と促進が求められている。再生可能エネルギーの初期投資により多くの費用が投じられるように、政府は、動機づけと外部のパートナーと多角的な開発融資協力や二国間協力の促進など、すべての可能な措置を取るべきである。早い時期に政府により十分な資金をもって実行された「ソーラー・ゲル(モンゴルの伝統的住居)10万戸」計画は、国を挙げて太陽光発電エネルギーを活用しようというきっかけとして最善のものであった。地方の住居の電灯から始まり、今日では、ソーラーパネルがさまざまな用途に使われており、携帯電話の充電、衛星テレビ用の電力、小型冷蔵庫に使用されている。対策基金、グリーン気候基金やクリーン開発メカニズム(CDM)、適切な緩和行動(NAMA)や二国間クレジット制度(JCM)などの特設の仕組みが公的、民間両方の投資の在り方を変え、より多くの当事者を取り込むように用いられ得る。草の根の活動から国家レベルの活動までの活動が広げられる可能性がある。

[英語原稿をERINAにて翻訳]

<参考文献>

- Batjargal Z., et al. (2001). The lesson learnt from the dzud 1999-2000. Ulaanbaatar.
- Bavuudorj O (2018). Present status of the energy sector development in Mongolia. Presentation for the “The 9th National Renewable Energy forum” on 24th May 2018, Ulaanbaatar
- Bolor-Erdene B (2018). The tariff system on renewable energy in Mongolia and related challenges. Presentation for the workshop “Climate change& Renewable Energy” on 11th April 2018, Ulaanbaatar
- Davaa G. et al (2015). Surface water regime and resources of Mongolia, Ulaanbaatar.
- Gomboluudev P (2014). Future projection of climate change over Mongolia. In: Mongolia Second Assessment Report on Climate Change. MEGDT, Ulaanbaatar, p73-78.
- Gomboluudev P., Munkhbat B. and Dorjsuren Ch. (2017). Report on Preliminary Result of Impact Assessment of Forest Distribution in Mongolia under Projected Climate Change, IRIMHE. Ulaanbaatar
- Jambaljav Ya., Gansukh Ya., Temuujiin Kh., Tsogterdene G. (2016). Distribution map of Mongolian permafrost. Research Report of thematic Work, Academy of Sciences, and Institute of Geography. Ulaanbaatar
- MEGDT (2014). Mongolia second assessment report on climate change, Ulaanbaatar
- MET (2017a) The status of the environment, Mongolia, 2015-2016. Ulaanbaatar
- MET (2017b) Mongolia’s Initial Biannual Update Report under the UNFCCC, Ulaanbaatar
- MET (2018) Mongolia Third National Communication under the UNFCCC, Ulaanbaatar
- Myagmarsuren N (2018). Present status, challenges and solutions of renewable energy in Mongolia. Presentation for the workshop “Climate change& Renewable Energy” on 11th April 2018, Ulaanbaatar
- Natsagdorj L (2008). The issue of a heat wave in summer season over the territory of Mongolia – Letter of Science Academy, Vol 187, No 1, page 2035.