

モンゴルのエネルギー供給による水需要に関する研究

独立行政法人国立環境研究所 岡寺智大*

独立行政法人国立環境研究所 王 勤学

モンゴル科学院地理学研究所 Ochirbat Batkhishig

慶応義塾大学 渡辺正孝

1. はじめに

気候変動による永久凍土の溶解によりモンゴルの水資源は脆弱な環境にある。一方で、モンゴルは豊富な天然資源を活用することで急速な経済発展を遂げており、2010年のGDP成長率は25%にも達し、特に鉱業は40%という高い成長率を記録している[1]。これに伴い、エネルギー需要も急増しており、2010年の石炭生産及び電力輸入は前年度に比べてそれぞれ74%と68%も増加している。そのため、安定したエネルギー供給はモンゴルにおいて重要課題の一つといえる。しかしながら、エネルギー生産には大量の水が必要と言われており、それらの関係性に着目した多くの研究が進められてきている[2-5]。そこで本研究では持続可能性評価の一環としてモンゴルのエネルギー供給に要する水需要を求め、水資源への影響を評価する。本稿では、まず、手法の基礎情報の整理とモンゴルへの適用方法について説明する。次に、モンゴルのエネルギー生産および供給による水需要の現状を示す。最後に、本研究から得られる政策的な意味付けを考察し、結論をまとめる。

2. 方法論

2.1 エネルギー生産に要する水需要

エネルギー生産に要する水需要(以下、WEP) エネルギー生産量(GJ)に生産あたりの水需要係数(以下WRC、表1)を乗じることで求まる。本研究では、統計データ[1]から原油、石炭および電力を算定の対象とする。また、電力は発電方法によって石炭、ディーゼル、その他の3種類に分類した。モンゴルではその他発電には、小水力、太陽光、風力といった発電方式があることが確認できたが、データの制約から細分化が困難であるのと、太陽光、風力は生産プロセスにおいて水を要することがないものと考えられるため、本稿ではその他の電力が水力発電で全て生産されると仮定した。

2.2 エネルギー供給に要する水需要

エネルギー供給とは、国内で生産されたエネルギーの内、国内で消費されたものと、国外から輸入されたエネルギーの総和のことである。そこでエネルギー供給に要する水需要(以下、WES)を求めるには、エネルギーの輸出量(GJ)および輸入量(GJ)にWRC(m^3/GJ)を乗じて、輸出入に係る水需要を規定する必要がある。本研究ではモンゴルのエネルギーバランス表[4]から、石炭及び電力の輸出入量を規定した。また、モンゴルではロシアから電力を輸入していることから、ロシアの発電状況に基づき、ガス、石炭、ディーゼル、水力および原子力の5種類に分類した。

2.3 エネルギー生産あたりの水需要係数

本研究では既存研究の文献値からWRCを設定した。WRCはエネルギー生産に伴う水消費量(蒸発等)か、取水量のいずれかに基づいた係数が利用されているため、本研究では両者のWRCを求めた(表1)。

表 1 エネルギー生産あたりの水需要係数

	取水 (m ³ /GJ)	水消費 (m ³ /GJ)	参考文献
石炭 ⁺	0.03	0.03	[6]
原油 ⁺	0.42	0.42	[6]
石炭発電	8.66	0.46	[6]
ディーゼル発電	7.17	0.75	[6]
水力発電	219.91	5.56	[6]
原子力発電	20.88*	0.20	[5, 6]
ガス発電	3.81	0.52	[6]

Notes :

⁺石炭と原油の WRC は取水か、水消費を区別がされていないため、同じ値となっている。

*原子力発電の原料のウランウムの生成にかかる水需要については、情報の制約から水消費ベースの値[8]を用いた。

3. 結果

3.1 モンゴルのエネルギー生産に要する水需要

2010年、モンゴルではエネルギー生産に伴い年間1億9548万m³の水が取水され、内62%は石炭発電によるものであるとの結果が得られた(図1)。また、モンゴルの全取水量(2009年)は5億5100万m³と言われており[7]、約35%がエネルギー生産に伴い取水される計算となる。一方、モンゴルのエネルギー生産による水消費量は、取水量の20%に当たる3,874万m³であり、内64%は石炭の生産によるものであることが明らかとなった。

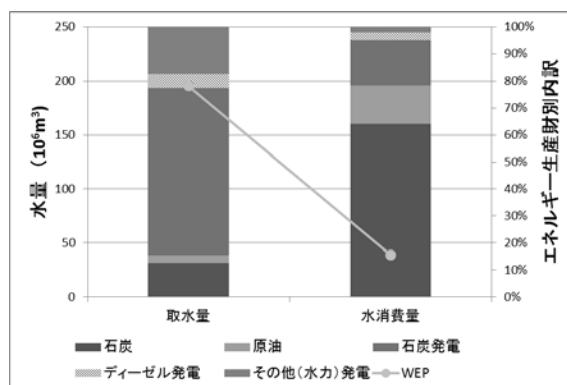


図 1 モンゴルのエネルギー生産に要する水需要

3.2 モンゴルのエネルギー供給に要する水需要

2010年のモンゴルのエネルギー供給に伴う水需要は、取水ベースで2億1741万m³となり、94%は電力供給によるものであるとの結果が得られた。一方、水消費ベースでは、2,332万m³となり、その内、41%が電力、36%が石炭の供給によるものである事があきらかとなった。

また、モンゴルのエネルギー供給に伴う水需要の国内外の内訳(表2)を見ると、82%は自国内で取水し、18%は海外の水資源からの取水する構造にあることがわかった。一方、水消費ベースでは、95%は自国内で消費しているのに対して、5%は海外で消費している事が明らかとなった。更に、供給されるエネルギー財により、国内外の内訳は異なり、特に電力供給に伴い要する水需要の内、12%~19%は輸入元のロシアに依存しているとの結果が得られた。

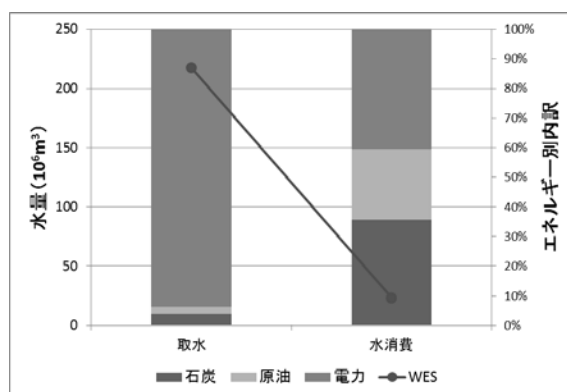


図 2 モンゴルのエネルギー生産に要する水需要

表 2 モンゴルのエネルギー供給による国内外での取水と水消費（2010年）

	取水		水消費	
	国内	輸入	国内	輸入
石炭	100%	0%	100%	0%
原油*	(100%)	n.a.	(100%)	n.a.
電力	81%	19%	88%	12%
合計	82%	18%	95%	5%

Note:

*原油は輸入データが入手できない（n.a.）ため、国内での水需要の割合を100%とみなす。

4. 考察

4.1 外部依存度

エネルギー供給とそれに伴う水需要（取水および水消費）の輸入割合を比較すると、モンゴルのエネルギー供給に対する外部依存度は、エネルギー供給全体で見ると外部依存度はないに等しい。しかしながら、それに伴う水需要の外部依存度は、取水ベースで18%、水消費ベースでは5%となっている。特に電力は6%の外部依存度に対し、2~3倍の水をロシアに依存しているという構造が明らかとなった。すなわち、モンゴルの電力供給はロシアの水資源環境の影響を受けやすい事が示唆された。

表 3 エネルギー供給とそれに伴う水需要の輸入割合

	エネルギー供給	取水	水消費
石炭	0%	0%	0%
原油	n.a.	n.a.	n.a.
電力	6%	19%	12%
合計	0%	18%	5%

4.2 モンゴルの WEP と WES の比較

モンゴルのエネルギー生産にかかる水需要（WEP）とエネルギー供給にかかる水需要（WES）を比較すると、取水ベースでは WES（2億1741万 m³）が WEP（1億9548万 m³）よりも大きくなるのに対し、水消費ベースでは WES（2,332万 m³）が WEP（3,874万 m³）よりも小さくなるという事が明らかとなった。これは、モンゴルでは石炭の66%を海外へ輸出している事が関係しており、水消費ベースの WEP および WES は、石炭の占める割合が大きく、石炭の輸出による影響が大きいためと考えられる。

4.3 不確実性

本稿における結果から、水需要量を取水量とするか、水消費量にするかで大きな違いが出る事明らかとなった。特に発電施設における WRC は取水ベースと水消費ベースで大きく異なる事が大きな要因と考えられる。中でも水消費ベースの WRC は発電システムにおける冷却方法の違い（once-through システムか closed システム）により大きく異なる事が予想されるが、モンゴル国内の発電施設の冷却方式に関する情報の入手が困難であった事から、冷却システムの不確実性が含まれている。

その他、水力発電の WRC については、取水ベースでは発電タービンを回転させるための動力源である流水を、また、水消費ベースでは安定的な流水を確保するための貯水プロセスにおける蒸発量を対象としているため、他

の発電システムに比べ、WRCが高くなる。また、他の発電システムが冷却システムに基づくシステムバウンダリーであるのに対して、水力発電の水需要のシステムバウンダリーの整合性については、今後議論の余地があると考えられる。

5. 結論

本研究ではモンゴルのエネルギー供給による水資源への影響を評価するために、モンゴルのエネルギー統計およびエネルギー生産技術ごとの水需要係数を用いて算定を行った。その結果、2010年の国内のエネルギー生産により1億9,500万m³が取水され、62%は石炭火力発電所に起因している事が解った。また、エネルギー生産により最終的に3,900万m³の水が消費されているとの結果が得られた。更に、モンゴルのエネルギー供給に伴い2億1,700万m³の取水が必要で、中でもモンゴルの電力供給にかかる取水の19%はロシアに依存していることが明らかとなり、ロシアの水資源の状況がモンゴルの電力供給に対して影響を及ぼす可能性が示唆された。同時に、こうした事実は、エネルギー供給と水資源制約という統合的な視点から、エネルギー安全保障を議論することの重要性を示している。しかしながら、取水、もしくは水消費という指標の違いにより結果に違いが出ることや、水需要係数の不確実性といった問題も明らかとなり、モンゴル国内のエネルギーおよび水資源政策への適用を図るためには、政策目標に適した指標の選択する基準の検討や、より科学的・学術的裏付けを持った水需要係数の精緻化といった新たな課題が浮き彫りとなった。

謝辞

本研究は環境研究総合推進費（E-1203）の成果の一部を取りまとめたものである。

参考文献

- [1]National Statistical Office of Mongolia, Mongolian Statistical Yearbook 2010, National Statistical Office of Mongolia, 2011.
- [2]Scott, C. A.; Pierce, S. A.; Pasqualetti, M. J.; Jones, A. L.; Montz, B. E.; Hoover, J. H.; "Policy and institutional dimensions of the water-energy nexus," Energy Policy, Vol. 39, No. 10, 2011, pp. 6622-6630.
- [3]Siddiqi, A.; Anadon, L. D.; "The water-energy nexus in Middle East and North Africa," Energy Policy, Vol. 39, No. 8, 2011, pp. 4529-4540.
- [4]Sovacool, B. K.; Sovacool, K. E.; "Identifying future electricity-water tradeoffs in the United States," Energy Policy, Vol. 37, No. 7, 2009, pp. 2763-2773.
- [5]Gleick, P. H.; "Water and Energy," Annual Review of Energy and the Environment, Vol. 19, No. 1994, pp. 267-299.
- [6]Carrillo, A. M. R.; Frei, C.; "Water: A key resource in energy production," Energy Policy, Vol. 37, No. 11, 2009, pp. 4303-4312.
- [7] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), AQUASTAT database, 2013, [cited 2013 04/04/2013 5:42], Available from: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>.