

中国・内蒙古自治区における再生可能エネルギー— 導入状況と今後の利用可能性

和田 武*

中国・内蒙古自治区における再生可能エネルギーの導入状況と普及課題について現地調査をもとに論じた後、利用可能な推定資源量に基づいて今後の持続可能なエネルギー利用構造を実現しうる可能性と展望について検討した。現在、内蒙古自治区の一次エネルギーに占める再生可能エネルギーの比率は9%以下である。しかし、近年、大小の風力発電機の導入が急速に進んで設備容量で48MWに達しており、中国全体の風力発電電力生産の2割程度を占めている。また、麦藁や樹木などのバイオマスの利用もかなり行われている。内蒙古の再生可能エネルギー資源の賦存量は風力、バイオマス、太陽光・熱などが非常に豊富で、今後、計画的にこれらの利用を拡大していけば、21世紀には再生可能エネルギー中心の持続可能なエネルギー利用構造を実現できる可能性をもっていると推察できる。

キーワード：再生可能エネルギー，内蒙古，中国，風力，バイオマス，太陽エネルギー，持続可能なエネルギー体系

目次

はじめに

1. 調査方法
2. 中国，内蒙古自治区のエネルギー動向と環境問題
3. 内蒙古における自然エネルギー資源とその利用
4. 21世紀における内蒙古の持続可能なエネルギー利用

おわりに

はじめに

本研究は、中国・内蒙古自治区におけるエネルギー利用の現状とそれがもたらす環境問題の

概要を明らかにし、環境保全にとって必要な再生可能エネルギー利用の現状分析を行い、それらを基礎に21世紀における内蒙古の持続可能なエネルギー利用の可能性とあり方を検討することを目的とするものである。

中国は、近年、石炭への依存度の高いエネルギー消費を急速に拡大してきた。その結果、石炭の埋蔵量が1145億トンもあるが、現在の年生産量（約14億トン）でも国内の石炭資源の可採年数は81年に過ぎない状況になっている¹⁾。また近年、中国では大気汚染や酸性雨の被害が深刻化している上、温暖化の主因であるCO₂排出量も世界第2位であるなど、環境面からもエネルギー利用のあり方が問われはじめてい

* 立命館大学産業社会学部教授

つある。さらに、人類の持続可能な発展にとっても、中国のような膨大な人口を抱える国のエネルギー利用を持続可能なものに転換することは緊急の課題となっている。

地球温暖化防止の観点からは、21世紀中に世界中の一人当たりの二酸化炭素排出量が同じになると仮定した場合、温暖化による不可逆的環境変化を防止するのに必要な大気中二酸化炭素濃度の450ppm程度での安定化のためにロンドンの "Global Commons Institute" が試算した国別の推定を盛り込んだシナリオでは、中国でも排出量を2020-30年頃を境に増加から削減に転じなければならなくなるとしている²⁾。温暖化の現状と今後の予測を考慮すれば、中国でも21世紀にはいずれ石炭などの化石資源の消費を大幅に抑制しなければならなくなる。中国政府は、その代替エネルギー源として、現在は3基しかない原子力発電を2010年に30基(2,000万kW)、2030年には50基前後に大幅に導入する予定であるとしていたが、1999年4月、今後3年間は原発を増設しないとの方針を固めたことが報道されている³⁾。中国にはウラン資源も豊富にあるが、将来のエネルギー利用における原発依存を高めていくことは環境面から好ましいことではない。核分裂による高レベル放射性廃棄物の生成は不可避であり、その安全な処分方法はまだ未確立である。

そこで、風力、太陽光、バイオマスなどの再生可能エネルギー利用を柱とする持続可能なエネルギー利用体系の構築が中国でも求められる。化石資源依存度の高いエネルギー利用構造を先進国並規模に拡大しないうちに、再生可能エネルギーを柱とするエネルギー構造を構築する方が、将来の負担を軽減しつつ、持続可能な発展を実現しやすいはずである。中国のなかで

も内蒙古自治区には再生可能エネルギー資源が豊富であると考えられ、その利用を拡大すれば持続可能なエネルギー利用のモデル地域となりうる可能性があると思われる。

しかし、内蒙古自治区における再生可能エネルギー利用の可能性に関する研究はこれまでわが国ではほとんどなされていない。再生可能エネルギー利用の現状に関して、内蒙古自治区新エネルギー局の林莉高級エンジニアが来日した際の話をもとめた形で紹介されていたり⁴⁾、新聞報道⁵⁾がなされている程度である。しかも、これらでは未電化地域の小型風力発電の導入を中心とする電化状況を簡単に述べられているだけで、大型風力発電などを含む再生可能エネルギー全般の利用状況については全く明らかにされていない。

筆者は、1998年と1999年の夏、2度にわたり中国・内蒙古自治区政府機関である科学技術委員会の招きで当地を訪問し、エネルギー利用状況等を調査する機会に恵まれた。本稿では、その際の調査結果と入手した情報や文献資料に基づいて、内蒙古自治区のエネルギー利用とそれに伴う環境問題の現状を明らかにし、さらに風力や太陽光、バイオマスなどの再生可能エネルギーの利用に関する現状調査を踏まえた上で、今後の内蒙古自治区における再生可能エネルギー資源利用の可能性、持続可能なエネルギー体系構築の可能性について検討した。

中国の統計情報等について、外国人が正確な情報を得るのはときには困難な場合があるとされ、現地の資料の搬出が許可されない場合さえある。しかし、本調査では、科学技術委員会だけでなく、そこを通じてエネルギー関連の自治区政府機関、大学、研究所、発電施設、企業等を訪問調査することができ、さまざまな貴重な

情報を入手することができた。それらを公表することについても先方から了解を得ている。

1. 調査方法

1998年と1999年の7月末から8月初旬のほぼ同時期に2度にわたり、内蒙古自治区を訪問し、研究調査を行った。内蒙古自治区科学技術委員会主任・謝仲元（現在、内蒙古軟科学研究会・理事長、教授）を責任者とし、内蒙古自治区政府機関所属の6名からなる「内蒙古自治区の持続可能な発展に関する研究」グループから、持続可能なエネルギー利用の構築のための提言など、研究に協力してほしいという要請に基づく調査である。

謝仲元は自治区政府の科学技術分野の幹部のひとりで、主として総合的な生態系の保全問題や再生可能エネルギーの普及などに取り組んできた。彼以外に、このグループには科学技術開発中心主任・劉岩、内蒙古自治区対外開放協公室綜合所所長・王和平、内蒙古科技信息研究所研究室主任・劉建新、科学技術開発中心交流部部長・高遠洪、および科学技術委員会所属で現在、神戸市外国語大学大学院博士課程在学中の馬瑞平が参加している。このグループは中国の改革解放後の経済発展がもたらした公害・環境破壊の現状から学び、内蒙古自治区においては持続可能な発展を目指すべきだとして結成され、日本の研究者の助言を得ようと馬瑞平を通じて筆者に要請があったのである。また、内蒙古グループから神戸市外国語大学・和田幸子教授にも経済的側面からの助言を得る目的で参加の要請があり、共同で調査を実施した。なお、現地での通訳は馬瑞平に務めていただいた。

内蒙古のメンバーはいずれも自治区政府機関

の要職にあり、自治区の科学技術研究などの一般的な状況に熟知しており、彼らと共に報告・討論を行った共同研究会などの機会を通じてさまざまな知見を得ることができた。さらに、自治区の首都・呼和浩特市を拠点にして、彼らが分担して内蒙古自治区内の政府機関、大学、研究所、発電施設、企業、書店等を訪問する機会を設けてくれ、資料収集と多くの関係者からの聞き取り調査を行うことができた。

エネルギー・環境分野では、上記メンバーの所属機関以外に訪問調査を実施した機関と対応責任者は以下の通りである。

- ①再生可能エネルギー政策等を検討する「内蒙古自治区新能源弁公室」林莉主任、なお彼女は「内蒙古自治区科学技術委員会新技術所」所長、「中国新能源研究会」理事をも務める（1999年調査）
- ②風力発電や太陽光発電をはじめ、再生可能エネルギーの研究開発を行っている「内蒙古工業大学」および「内蒙古自治区新能源研究所（自然エネルギー研究所）」の劉志章教授（1998年調査）
- ③大型風力発電所を統括している「内蒙古風力発電總公司」生産部・劉瑞郷部長（1999年調査）
- ④大型風力発電機による内蒙古最大の集中風力発電所（ウィンドファーム）「灰騰席勒風力発電所 満都拉風電園」王文園所長（1998年調査）
- ⑤小型風力発電機等の製造メーカー「内蒙商都牧機社」楊彬社長（1999年調査）
- ⑥錫林郭勒草原の牧民宅に小型風力発電機の導入を推進している「蘇尼特右旗（スーニートーユーチー）科学技術委員会」楊主任（1999

年調査)

- ⑦小型風力発電機あるいは太陽光発電機を設置している錫林郭勒草原の牧民宅（1999年調査）
- ⑧自治区の代表的な炭鉱である「准格爾露天煤鉱」屈主任（1998年調査）
- ⑨環境分野の自治区研究機関「環境科学研究所」高震風所長，李亜威副所長（1998年調査）

なお，このほかにも包頭市人民政府，察右前旗人民政府，包頭黄河高進素材有限公司，内蒙古鹿王羊絨集团公司，内蒙古碑酒会社，緑化に取り組む呼和浩特郊外の森林公園，土壤流出が進行する黄土高原とその防止の緑化を研究する准格爾試験区，環境破壊が進行する黄旗海なども調査し，内蒙古がかかえる現実を理解するには非常に役立ったが，本稿では，これらの内容については触れない。

2. 中国，内蒙古自治区のエネルギー動向と環境問題

まず最初に中国と内蒙古自治区のエネルギー動向とそれに関連する環境動向を概観しておく。

(1) 中国のエネルギー動向

1990年代の中国の一次エネルギー総消費の推移を，人口，国内総生産とともに図1に示した。人口については，政府の抑制政策により伸びが次第に鈍化してきているのに対し，国内総生産と一次エネルギー総消費の伸びは大きい。すでに，一次エネルギー総消費は石炭換算で10数億トンに達している。ただし，このエネルギー消費量の統計には，薪などの伝統的なバイオマス利用のような非商業的エネルギーは含まれていない⁶⁾。

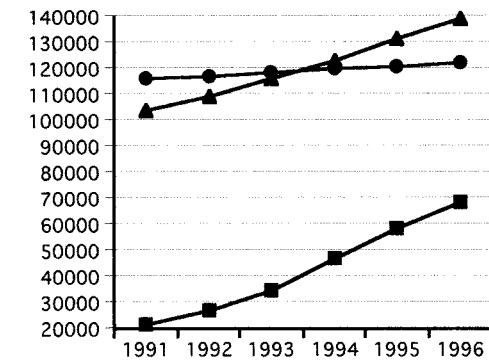
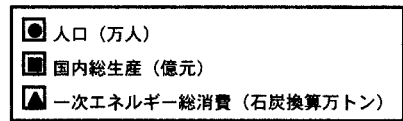


図1 1990年代の中国の一次エネルギー総消費，人口，国内総生産の推移

(国家統計局「中国能源統計年鑑1991-1996」⁷⁾のデータに基づき作図)

そこで同時期の中国の一次エネルギー生産の推移をバイオマス利用も含めて資源別にまとめたのが表1である。この表からわかるように，植物の葉茎，薪や柴，さらに家畜屎尿等から得られたバイオガスなどのバイオマスも地方を中心にかなり利用されている。1996年の利用量を石炭換算で示すと⁸⁾，バイオガスは113万トン，植物茎は11,997万トン，薪柴は8,299万トンで，総量にして20,409万トンにのぼる。これを加えると，一次エネルギー総生産は石炭換算で約15億トンとなり，そのうちの約14%をバイオマスが占めていることになる。バイオマスを含む総エネルギーの中の資源別比率は図2に示すように，石炭の占有率は67%，化石資源は合わせて85%となり，水力1.7%を含む再生可能エネルギーは15%になるが，風力発電はまだ微々たるものである。

表1 中国の一次エネルギー生産の推移

中 国	1991年	92年	93年	94年	95年	96年
原炭・万吨	108741	111638	115067	124200	136073	139670
原油・万吨	14099	14210	14524	14608	15005	15733
天然ガス・万m ³	1549300	1578800	1676507	1756300	1794715	2011245
発電量・億kWh	6775.47	7539.48	8394.53	9280	10070.3	10813.1
水力発電量・億kWh	1246.68	1306.64	1518.19	1674	1905.77	1879.66
火力発電量・億kWh	5524.62	6214.74	6838.77	7464.31	8023.62	8777.32
原子力発電量・億kWh ^(注1)	0	0.9	16	138	120	140
風力発電量・億kWh ^(注2)					0.96	1.73
バイオガス・万m ³	114815.68	-	-	-	151540.55	158644
植物茎・万吨	34627.86	-	-	-	30330.56	27964.49
薪柴・万吨	18044.63	-	-	-	17559.69	14534

出典：国家統計局工業交通統計司編「中国能源統計年鑑1991－1996」中国統計出版局，1998

(注1) 原子力発電量は、資源エネルギー庁「原子力発電関係資料」掲載の設備容量226.8万kWから稼働率75%として算出

(注2) 風力発電については、各年度のWindpower Monthly News Magazine 掲載のデータから、風力発電機の平均利用率を25%として算出

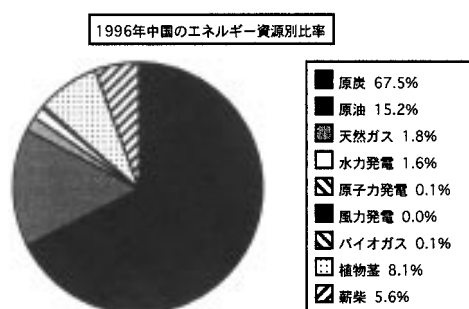


図2 中国の一次エネルギー資源別比率（1996年）

(2) 内蒙古自治区のエネルギー動向

内蒙古は自治区面積118.3万km²で日本の国土の3倍以上の広さがあり、人口は日本の5分の1に当たる2,325万人である。エネルギー資源としては、石炭の確認埋蔵量が2,300億トンと非常に豊富で、中国の5大露天掘り炭鉱のうち4つが内蒙古にある。他の資源より安価であるため、発電の大半は石炭火力発電である。露天掘り炭鉱の近くに火力発電所が建設されており、総発電容量は400万kW以上にのぼる。一方、石油は埋蔵量が100億トン程度と推定⁹⁾されており、あまり豊富ではない。風力や太陽エネルギーなどの再生可能エネルギー資源は後述するように豊富に存在する。

表2 内蒙古自治区の一次エネルギー生産

内蒙古自治区	1991年	92年	93年	94年	95年	96年
原炭・万吨	4923	5039	4258	6100	7055	7317
原油・万吨	100.06	100.05	101.02	45	175.84	149.9
天然ガス・万m ³	-	-	-	-	-	-
発電量・億kWh	189.04	222.29	235.23	261	278.54	323.78
水力発電量・億kWh	1.24	1.11	1.13	2	1.43	1.3
火力発電量・億kWh	187.59	220.87	234.1	259.72	277.11	322.53
風力発電量・億kWh ^(注1)	0.02	0.02	0.05	0.17	0.2	0.31
バイオガス・万m ³	214.94	-	-	-	156.64	-
植物茎・万吨	34627.86	-	-	-	961.42	920.42
薪柴・万吨	18044.63	-	-	-	204.75	224.18

(注1) 風力発電については、内蒙古風力発電総公司・劉瑞郷氏からの聞き取り調査結果による設備容量データから利用率25%として算出

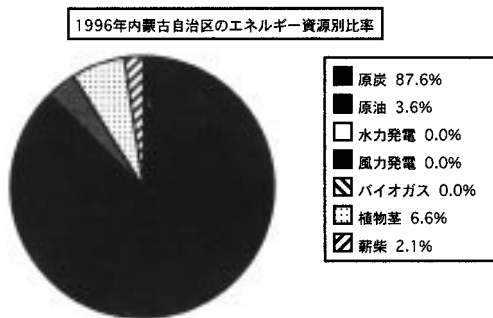


図3 内蒙古自治区の一次エネルギー資源別比率（1996年）

近年の内蒙古自治区の一次エネルギー生産は表2の通りである。総一次エネルギー生産量は約6000万吨であるが、各資源別の比率は図3に示すように、石炭が88%と高率を占め、石油や天然ガスの比率は中国全体と比較しても非常に低い。一方、再生可能エネルギーは、水力発電もバイオマスも全国平均より低くなっている。表3に各資源別に全国の生産量中の内蒙古自治区の比率をまとめた。エネルギー総生産

量では中国全体の4.5%であるが、風力発電は約18%と非常に高く、石炭も5%で相対的に高い。再生可能エネルギーでは、風力以外は低いが、とくに水力やバイオガスは0.1%程度と非常に低い。

このように、内蒙古自治区のエネルギー利用は中国全体と比較しても、石炭依存率が高く、その結果、大気汚染等の環境問題も後述するように次第に悪化してきている。したがって、石炭中心のエネルギー消費を拡大し続けることは環境保全と資源保護の点からみて好ましくない。今後、内蒙古自治区が持続可能な発展を遂げていくためには、再生可能エネルギー利用を推進し、エネルギー利用構造を抜本的に転換していくことが必要になることは間違いない。

(3) 中国と内蒙古自治区の環境汚染

上述のように、近年、中国のエネルギー生産と消費は、その大部分を国内に豊富に存在する石炭を中心とする化石燃料に依存しながら急速

表3 全国の一次エネルギー生産に対する内蒙古自治区の比率

96年内蒙/中国比較	内蒙古自治区	中国	内蒙古の比率・%
一次エネルギー生産・万tce	5966	132616	4.49
原炭・万トン	7317	139670	5.23
原油・万トン	149.9	15733	0.95
天然ガス・万m ³	0	2011245	0.00
水力発電量・億kWh	1.25	1879	0.06
原子力発電量・億kWh ^(注1)	0	158	0.00
風力発電量・億kWh	0.31	1.73	17.91
バイオガス・万m ³	156	158644	0.09
植物茎・万トン	920	27964	3.29
薪柴・万トン	224	14534	1.54

ただし、内蒙古のバイオガスは1996年のデータがないため95年のデータを使用

に増大している。しかも、石炭への依存率は諸外国よりはるかに高いにもかかわらず、脱硫装置などの排気ガス処理装置の普及率が低く、深刻な大気汚染や酸性雨などの環境問題が各地で起きている。最近は汚染防止対策もとられはじめ、少しずつ改善の兆しがみられるものの、まだ良好と言うにはほど遠く、健康被害も各地で発生している。以下、最近の中国と内蒙古自治区の環境汚染の概況を「中国環境年鑑」等に基づいてまとめておく¹⁰⁾。

中国全体の二酸化硫黄の排出量は、1997年には2,346万トンに達し、日本の約30倍にも相当するが、これが都市部に集中している。その結果、二酸化硫黄による大気汚染は、多くの都市で、かなり深刻な状態にある。最近では改善傾向にあるものの、1997年の都市の年間日平均の大気中二酸化硫黄濃度の観測結果によると、最も汚染の激しいのは太原で0.248mg/m³、次いで宜賓0.216、重慶0.208と続き、WHOの環境基準である0.150mg/m³以上の測定値を示している都市が7都市に及び、0.1mg/m³以上の都市は

22にも上っている。1996年の貴陽と重慶の大気中二酸化硫黄濃度は、それぞれ0.418mg/m³と0.321mg/m³にも達する激しいものであった。中国政府は2000年6月5日に「1999年版環境報告」を公表し、そのなかで二酸化硫黄の国内総排出量は98年比で11.2%減少し、1,857万トンになったが、大気汚染は依然として深刻で、主要都市の4割で酸性雨が降っている、などを明らかにしたことが報道されている¹¹⁾。ここには、内蒙古の大都市である首都・呼和浩特市と包頭市はともに0.102mg/m³で、大草原に囲まれた地でありながら全国で29番目に高い汚染状況にあることも示されている。

また、窒素酸化物については、広州(0.140mg/m³)、北京(0.133mg/m³)、上海(0.105mg/m³)が高濃度で、大都市では自動車排ガスによる汚染が激しいことをうかがわせる。呼和浩特市と包頭市はいずれも0.052で全国で29番目に高い濃度で、ほぼ日本の都市部の道路沿いの汚染状況と同程度となっている。浮遊粒子状物質による汚染も深刻な状況にある。

1997年の大気中濃度は蘭州 $0.741\text{mg}/\text{m}^3$ を筆頭に、 $0.6\text{mg}/\text{m}^3$ 台が2市、 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 台が4市、 $0.4\text{mg}/\text{m}^3$ 台が13市に上り、とくに暖房期間が長い北方都市に集中している。呼和浩特と包頭は0.448と0.445で、全国で15、16位に位置し、汚染が進んでいる都市といえる。

大気汚染が深刻な状況にあるため、それが原

因で発生する酸性雨も中国では広範囲に観測されている。このような大気汚染や酸性雨は、すでに住民の健康被害や生態系への悪影響をもたらしてきた。さらに、それらは日本にも流れ込み、雨水中の硫黄/窒素の比率が日本海側が太平洋側より高くなる傾向があることなど、越境大気汚染の存在が知られている。

表4 内蒙古自治区主要都市の大気汚染¹²⁾

都市名	二酸化硫黄 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			窒素酸化物 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			浮遊粒子状物質 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	86-90年(注)	1996年	1997年	86-90年(注)	1996年	1997年	86-90年(注)	1996年	1997年
呼和浩特	0.040-0.088	0.11	0.102	0.020-0.101	0.034	0.052	0.402-1.355	0.443	0.448
包頭	0.144-0.177	0.106	0.102	0.043-0.078	0.05	0.052	0.199-0.810	0.484	0.445
烏海	0.109-0.208	-	-	0.025-0.037	-	-	0.380-0.720	-	-
赤峰	0.050-0.112	-	-	0.029-0.050	-	-	0.620-0.851	-	-
集寧	0.080-0.226	-	-	低い	-	-	0.669-1.139	-	-
海ら爾	0.018-0.046	-	-	0.013-0.048	-	-	0.450-2.320	-	-
(注) 1986-90年は5年間の日平均値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) の範囲。1996,7年は年平均値である。									
1986-90年のデータは「内蒙古自治区科学技術誌」、1996,7年は「中国環境年鑑」より引用。									

内蒙古自治区主要都市の大気汚染状況を表4にまとめた。呼和浩特市と包頭市以外の都市でもかなり高い汚染状況にあることがわかる。また、年度別データから、包頭市では1980年代よりも最近は改善の傾向がみられるが、呼和浩特市は逆に悪化傾向にある。

「中国環境年鑑」に示されている「都市大気汚染総合指数」では、1996年の全国主要都市中で悪い方から呼和浩特市は29位（包頭市は呼和浩特市より上位であることはデータから明らかであるが、この指数の順位表には入っていない）であったが、1997年には、呼和浩特市は15位、包頭市は16位と悪化している。広大な草原地帯のなかにある都市でありながら、このような高濃度の大気汚染が進行しているの

は、全国平均と比較しても石炭消費が相対的に多いエネルギー構造が原因である。ときには全国的に最も高いレベルの汚染状態になることもあり、1999年7月30日から8月5日の1週間の大気汚染指標で、呼和浩特市は全国でワースト3になったことが報道されている¹³⁾。筆者が呼和浩特市に滞在中も、とくに早朝には排煙微粒子などでもやががかったような状態がいつもみられ、亜硫酸ガスのにおいがすることもあった。したがって、内蒙古でも、今後、環境保全的エネルギー対策の一層の強化が緊急の課題である。

石炭をはじめとする化石燃料の大量消費は、大気中の二酸化炭素増加による地球規模の温暖化をも促進する。すでに温暖化の影響は、中国

でも現実に現れはじめています。最近の中国の「環境状況公報」によれば、中国の大部分の地域で年平均気温の上昇が観測され、異常気象等により経済と生活に重大な影響が出はじめています。異常気象はときには異常高温や早魃などに限らず、地域的には大寒波や大雪をもたらすが、内蒙古では数年来、夏期には早魃が続き、現地からの情報によると、今冬には史上初といわれる大雪に見舞われ、数万から数十万頭もの家畜が死亡する大被害が発生しているとのことである。このような個々の現象と地球温暖化の関係を証明することは難しいが、少なからず関係があると思われる。世界的に温室効果ガスの排出量を早急に大幅削減しない限り、地球温暖化がさらに進行することは確実であり、内蒙古のような内陸部では異常気象による被害がますます深刻化する可能性が高い。内蒙古でもエネルギーの高効率利用と再生可能エネルギー利用を柱とする持続可能なエネルギー利用構造を構築していくことが望まれる。

中国政府は当面の環境保全エネルギー対策として、①あらゆる工場からの排気ガスの総量抑制、②高硫黄含有石炭の利用の削減、③発電所や工場のボイラーなどへの脱硫装置の設置、などを重視している（国家環境保護局・解振華局長）¹⁴⁾。当面の方針はそれでよいとしても、中長期的には地球温暖化防止も視野に入れた対策として、国内エネルギーにおける石炭への高依存状況から脱して、天然ガスや再生可能資源の比重を高める方向に移行していくことが必要になる。その際、再生可能エネルギー資源が豊富な内蒙古自治区がその地理的特性を生かして、地球温暖化防止にも貢献できるエネルギー構造の優れたモデルを構築することは、中国全体の持続可能なエネルギー利用体系の構築にとって

きわめて重要な意義をもつ。

（４）露天掘り炭鉱と石炭火力発電所の現地調査結果

内蒙古自治区では最大規模の炭鉱と石炭火力発電所を1998年に訪問調査した。

内蒙古自治区には大小合わせて10ヶ所以上の露天掘り炭鉱があるが、全国の5大炭鉱のひとつである「准格爾（ジュンガール）露天煤鉱」の現地調査を行い、屈主任から説明を受けた。この炭鉱は、呼和浩特市から南南西100kmほどの黄土高原地帯にある。面積42.36km²の広大な土地に厚さ18-30mで炭層があり、推定埋蔵量は22億トンにのぼる。比較的新しく、1990年に試掘と準備が開始され、1992年より産出されるようになった。1998年の生産量は300万トン/年の予定であるが、1,200万トン/年まで増産することは可能だそうである。原炭に含まれる岩石などの不純物を除去する選炭（洗炭）をして隣接している火力発電所等で使用されるが、その熱量は5,500kcal/kgということで、標準的な石炭（約7,000kcal/kg）よりは小さい。なお、選炭後の硫黄含有率は0.5%以下である。

なお、日本ではどんな施設でも説明用のパンフレットなどがあるのが当たり前であるが、中国の場合はそういう資料を入手できることは少なく、ここでも資料は得られなかった。また、現地でも入手できた「内蒙古自治区科学技術誌」¹⁵⁾などのいくつかの資料にも、炭鉱名とごく簡単な説明があるだけで、データらしいものを見出せなかった。

現地は300m幅で掘り進みられていて、採掘場を見下ろす展望台から見ると、見渡す限りの平原のなかに豆粒程のブルドーザーやトラック

が動き回り、採掘が続いていた。表層部が剥ぎ取られ、黒っぽい潤いを感じられない風景が広がっていた。一応、掘り終わった跡地には、盛り土がされ、草木が植えられて、緑化が図られていたが、元の草原からすると、大規模な自然破壊であることに変わりはない。

内蒙古には40万kW以上の発電所が5ヶ所あり、あらゆる発電施設を含む総発電容量は519万kW、年間発電量は261.7億kWh（1994年）にのぼり、華北地域の各省や市に電力を供給している。1998年、石炭火力発電所のなかで最大級の托克井火力発電所を訪問し、張総工士の説明を受けた。ここでも資料は得られなかった。この発電所には36万kWの発電機が3基あり、当時、新たに1基が建設中であった。米仏から輸入した装置備品を使用していたが、発電効率は39%と高かった。脱硫装置は付設していないということであったが、選炭したものを利用しているということで悪臭は感じなかった。

場所はほぼ呼和浩特市の西70kmほどのところで、呼和浩特市と工業都市である包頭市の中間くらいの位置にある。発電所の総面積は15km²もあり、周囲にはあまり民家もないので、大気汚染等の被害はないということであった。ただ、高い煙突から排煙しているので、直下よりも若干離れた広い地域に大気汚染をもたらす可能性は十分にある。

自治区内の道路を自動車で行くと、よく石炭を山のように積んだトラックが走っているのを見かけた。また、随所に石炭を小山のように積み上げた集積所や選炭工場などもみかける。都市部でも暖房や料理用にも石炭が使用されているとのことで、火力発電所を含めてエネルギーの大部分を石炭に依存している状況を感じることができた。それによる大気汚染の影響

とみられる樹木被害が、呼和浩特市や包頭市周辺の各地で街路樹などにみられた。

石油関連施設として、この地域には珍しい石油精製工場「呼和浩特特煤油所」も1999年に訪問した。呼和浩特市の南部9kmほどの郊外にあり、呼和浩特市のやや西よりの北部600km離れた二連油田より300kmのパイプラインで輸送されてきた後、鉄道で130万トン/年の原油がここに輸送されている。ここでは製品のパンフレットを入手することができた。通常の石油精製工場と同様に、LPG、ガソリン、ディーゼル油、重油、アスファルトなどを生産していた。また、プロピレンやポリプロピレンの製造施設も工場内に配置されていた。日本の石油精製工場並みの設備を備えているが、広大な原野のなかにゆったりと配置されている点で、日本との相違を感じさせた。

3. 内蒙古における再生可能エネルギー利用の現状

(1) 内蒙古のエネルギー資源

内蒙古には、中国の国土面積の12.3%にも及び118.3万km²の土地があり、風力、太陽光・熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーはきわめて豊富に存在する。風力や太陽光資源量は非常に豊富で、それぞれ全国一、二位を占める¹⁶⁾。全区の平均風速は3.7mで風力発電利用可能地域は全区の約80%にも相当し、全国の風力資源量の5分の1が内蒙古に存在すると推定されている。また、年間日照時間数は2600-3400時間もあり、年間太陽輻射総量は4800-6400MJ（兆焦耳）である¹⁷⁾。ちなみに、日本では風力発電可能地域は国土の約7分の1、年間日照時間数は1500-2200時間程度である。

さらに、内蒙古自治区にはバイオマス資源も豊富に賦存している。最大のバイオマスは、東部地域を中心に全土の14.1%を占める3269.3万haという広大な森林である。これは中国一の広さで、日本の森林面積の1.3倍以上にもなる。森林の単位面積当たりの年間純生産量を日本の半分の6トン/haと仮定すると¹⁸⁾、内蒙古の全森林の年間純生産量は約2億トンとなる。木材の発熱量を3,800kcal/kgとすると、年間純生産量はエネルギー量として約760兆kcal、薪柴1トン=0.57tceとして石炭換算で1億トン以上にもなる。これは内蒙古自治区の年間一次エネルギー総供給量をはるかに上回る数字である。もちろん、すべてを使用することは不可能であるが、生態系に配慮しつつ、計画的に持続可能な利用の方法を検討することは重要である。

水資源については、内蒙古自治区は全体として乾燥的気候が支配的で年間降雨量が500mmを越える地域はごく一部であるため豊富とはいえないが、それでも千に及ぶ河川や湖沼が存在し、水面面積は98.43万haに達している。そのうち、利用可能な淡水水面が65.5万haあり、全国の10.68%を占める。これらは農業用や漁業用に活用されているだけでなく、発電にも利用できる。しかし、現在の発電利用は後述するように僅かである。

内蒙古の面積は広大であるが、人口は2325万人で中国総人口の2%以下であり、人口密度が約20人/km²と非常に低く、かなりの地域では送配電をはじめエネルギー輸送に困難を伴うことから、各地域に分散的に存在する再生可能エネルギーの有効活用を図ることは社会構造から見てもきわめて重要である。とくに自治区全土の74.6%を占める草原地帯に牧民や農民が分散居住しているため、資源が分散して存在し、

無料で誰もが利用可能な風力、太陽光、バイオマスのような地域自立型の再生可能エネルギーを積極的に利用するのが最適である。内蒙古自治区では、そのような観点から風力発電などの普及に努め、成果をあげつつあるが、その他の再生可能エネルギーについても積極的な活用が望まれる。

（2）内蒙古自治区における大型風力発電の普及

中国は、風力発電については2000年中に100万kWを達成するという目標を掲げ、風力資源が豊富な内蒙古自治区、新疆ウイグル自治区、華北省、浙江省の4地域を重点地区として普及が進められてきた。このうち内蒙古自治区では、2000年までに20万kWを目標にしている。そこで1989年に内蒙古電力局に風力発電弁公室を設立し、1995年にはそれを内蒙古風力発電総公司として独立させ、目標の達成を目指して意欲的に取り組んできた。最初に建設された朱日和の風力発電施設を除き、風力発電所建設プロジェクトは外国からの借金を充当して国家プロジェクトとして推進されてきた。

その全容を知りうる資料を入手できなかったが、内蒙古風力発電総公司の生産部部长・劉瑞郷氏からの聞き取り調査¹⁹⁾によって、大型風力発電機を利用する風力発電の現状を把握することができた。1999年7月末現在の内蒙古自治区の大型風力発電機の設備容量は45,275kWで、新疆ウイグル自治区の約7万kWに次いで国内では2番目に高い。内蒙古だけで風力発電の総設備容量は1999年末の日本の6.8万kWの約7割にも相当する。内蒙古の大型機による風力発電はすべて4カ所の大規模風力発電所（中国では「風力発電園」と呼んでいる）に集中して建設されている。調査によって知り得たデー

タに基づいて、表4に各風力発電所の設備配置、累積設備容量の経年変化と発電所別の設備容量比率を示した。
表5には各年毎の設置容量、累積設備容量、推定年間発電量をまとめた。また、図4、5には

表5 内蒙古自治区にある大規模風力発電所

発電所	総設備容量	風力発電機の種類と数（建設年）
灰騰錫勒風力発電所	36,200kW	Micon社製600kW × 43基 96年9基, 97年33基, 99年1基設置)
		Zonde社製500kW × 10基（99年）
		Vestas社製600kW × 9基（98年）
朱日和風力発電所	4,800kW	Model社製100kW × 11基（89年5基, 90年6基）
		Bonus社製120kW × 10基（93年）
		デンマークと共同, 中国広州で生産
		Husumer社製250kW × 4基（94年）
商都風力発電所	3,875kW	Nordtank社製300kW × 3基（94年）
		大華社（山東省）製55kW × 5基（95年）
錫林風力発電所	1,000kW	Husumer社製250kW × 4基（95年）

表6 内蒙古における大型風力発電の累積設備容量の推移

年	年設置容量・kW	累積設備容量・kW	年発電量・万kWh ^(注1)
1989	500	500	127
90	600	1100	240.9
91	0	1100	240.9
92	0	1100	240.9
93	1200	2300	503.7
94	5500	7800	1708.2
95	1275	9075	1987.4
96	5400	14475	3170.0
97	19800	34275	8707.2
98	5400	39675	8688.8
99	5600	45275	9915.2

注1；年平均利用率を25%として算出（灰騰席勒風力発電所の実績は29%）

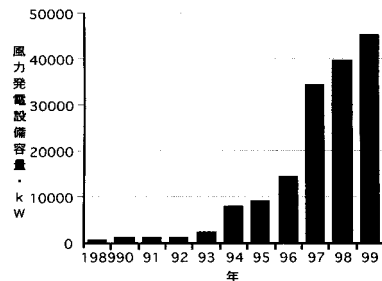


図4 内蒙古自治区の風力発電設備容量の経年変化

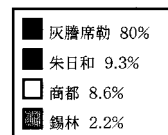


図5 内蒙古風力発電設備容量の発電所別割合

内蒙古自治区における風力発電の設備容量の1992年から99年までの年間平均伸び率は70%にもなる。現状では、2000年中に20万kWの内蒙古自治区の目標達成は厳しいが、仮に年間伸び率が維持されるとすると、2002年には22万kWに達し、2005年には内蒙古自治区だけで100万kWに達することになる。

風力発電による発電量については、公式発表された数値を見出すことができなかったため、聞き取り調査を参考に利用率を25%として算出した推定値を表に示した²⁰⁾。これらの値から、風力発電による発電量は総発電量（約200億kWh）の0.4%程度であると推定される。風力発電の設備容量が100万kWになった場合の年間発電量は22億kWhとなり、現在の総発電量の10%以上を賅えることになる。

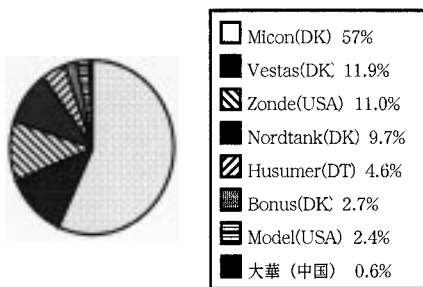


図6 内蒙古自治区に設置された風力発電機生産の企業別シェア（DKはデンマーク，USAはアメリカ，DTはドイツ）

内蒙古自治区に設置された風力発電機生産の企業別シェアは、図6に示したように、NEG-Micon社が過半数を占めるなど、81.4%を4社のデンマーク企業が占め、次いで2社のアメリカ企業が13.4%、1社のドイツ企業が4.6%を占めており、国産は大華社のみで0.6%に過ぎない。今後、自治区内で大型風力発電機生産企業を育成していけば、自治区内の産業の発展と雇用の

創出に大きな役割を果たすであろう。

（3）灰騰席勒風力発電所の現地調査結果と考察

呼和浩特市からやや北寄り東方の直線距離にして100km余の人里からはるかに離れた大草原のなかに内蒙古最大の風力発電所である灰騰席勒（ハイトンシロ）風力発電所がある。1998年8月4日、筆者らはこの発電所を訪問し、王文園所長からの説明を受けながら現場を調査した。発電所のある草原はもともと牧民が生活し、放牧している草原で、牧民たちは発電所ができる前とまったく変わらず、自由に発電所内で生活や放牧を行っている。筆者が訪問した時も草原内の風車の下で数百頭の羊の群れが草をはむ光景があった。

一階建ての白いきれいな発電所の管理棟で設備内容や運転状況の説明を受けた後、発電所の敷地内にあるパオのなかで子羊の丸焼きなどをご馳走になりながら、多くの情報を得ることができた。この発電所は内蒙古の風力発電所のなかでは最も新しく、1996年10月にデンマークのミーコン社製の出力600kWの風力発電機9基が設置されて開設された。その後、毎年、増設され、訪問時には600kW機が42基、総発電容量25,200kWの内蒙古最大の風力発電所になっており、同年に運転を開始する予定のZonde社製500kW機10基の建設が行われていた。（現在は、上述のように62基、総発電容量36,200kWの巨大な発電所になっている）

この地域の風速は冬期は10m/秒程度であるが、年間平均で7m/秒強ということであった。訪問時にはすべての風車が回っていたが、風力発電機の年間稼働率は90%以上で、発電量は1台当たり平均して年間150万kWhということであった。この値から利用率を計算すると

28.5%となり、風力発電としてはかなり高い利用率で運転できていることになる。

設置価格は発電容量1kW当たり8000元（1元を約17円とすると13.6万円）ということであったので、この値から600kW機1基の設置価格は480万円（6528万円）、総数42基分で総額2億160万円（27.4億円）と推算できる。これは当時としてはデンマーク国内とほぼ同程度の価格に相当するものである。最近、日本に設置された風力発電機は建設費等を含めた総設置経費はこの価格の2倍前後になっている。日本の建設費が高いこともあるが、輸送費などを考慮すると、デンマークのミーコン社が内蒙古に格安で販売したと推定できる。デンマーク政府はエネルギー政策として温暖化防止を重視し、そのために国内の風力発電などの再生可能エネルギーの普及推進だけでなく、途上国や東欧諸国への普及協力方針を打ち出していることから²¹⁾、これらの状況を理解することができる。なお、設置経費は国内銀行からの融資で賄ったということであった。

王所長によれば、この風力発電所からの電力販売価格は0.73元/kWh（9.9円/kWh）で、電力販売により投資は7-8年程度で回収できるということであった。この価格と上記の発電量から年間発電電力販売価格を計算し、その値で総建設経費を割ると4.4年という値になる。したがって、風力発電機以外の施設費、銀行からの借入金の返済利率や人件費を含む運転経費を考慮に入れたとしても、7-8年で投資額が回収できるという話は大筋で理解できる。施設費や運転経費は王所長自身も正確には分からないということであったが、ちなみに風力発電機以外の施設費を1000万円（1億7000万円）とし、年利6%で銀行に返済するとした場合、年間運

転経費を577万円（約9800万円）程度と見込んでも7年で返済できることになる。風力発電機の耐用年数はメーカーより25年と聞いており、十分に経済性をもっているということであった。

この風力発電所の今後の展開については、王所長によると総面積が300km²もあり、このすべてを使えば120万kWの設備容量が可能であるということであった。この時点での600kW機の1基当たりの占有面積は9万m²ということなので、仮に600kW機をこの占有面積で配置したとすると、200万kWということになり、王所長の数値より大きくなる。通常、風力発電機の占有面積は10D×10Dから10D×3D（Dは風力発電機のローターの直径）とされている。600kW機の場合にはDは約43mなので、1基当たりの占有面積は5.5万-18.5万m²程度になるが、実際の配置での占有面積は10D×5D程度になっていて、今後、120万kWの設備容量にするには10D×8D程度に配置すればよい。仮に敷地全体に10D×10Dから10D×3Dで配置したとすると、97万kWから324万kWの発電容量の風力発電所ができる可能性をもっている。現在では、風力発電機1基当たりの発電容量が次第に大きくなってきており、ヨーロッパでは1000kW級が普通になり、3000kW級のものも登場している。一般的に発電容量の大きい風車を配置した方が、敷地面積当たりの発電容量を増加させることが可能になるので、利用率を考慮に入れても、ここには100万kW級の大型原発1基分に相当する風力発電所を建設することができることになる。しかも、建設をしても現在の放牧用としての土地利用はそのまま継続でき、自然の生態系への影響もほとんどないと考えられる。

（４）未電化地域の再生可能エネルギー電力による電化の推進

内蒙古自治区の面積118.3万km²の74.6%が草原であり、人口密度も低く、分散居住している住民が多く、送配電網の設置等が困難であるため、未電化村が1,600村もあり、大草原に点在する未電化の牧民家庭が30万戸もある。これらの地域の電化を推進することは、自治区の重要な課題である。内蒙古自治区政府は、これらの地域に豊富に遍在する風力発電や太陽光発電などの小規模分散型のエネルギー生産手段を導入する体制を整備すると共に、小型の風力発電や風力揚水機、太陽光発電、太陽熱利用技術などの研究開発や実証テストを実施し、意欲的に実用化を推進してきた。これらの取り組みは大きな成功をおさめつつあり、世界の未電化地域や商業的エネルギーを利用できない地域の持続可能な発展の優れたモデルとして高く評価できるものである。

その状況について、「内蒙古自治区新能源弁公室」林莉主任、「内蒙古工業大学」および「内蒙古自治区新能源研究所（自然エネルギー研究所）」の劉志章教授（1998年調査）小型風力発電機等の製造メーカー「内蒙商都牧機社」楊彬社長などからの聞き取り調査を含む現地調査を実施し、かなり詳細の情報を得ることができた。しかし、本稿ではその詳細について論ずる紙数がないので、導入量だけを簡潔に述べるととどめ、導入の経緯、研究開発、導入体制、導入による牧民たちの生活変化などの社会的影響については、別稿で論じることにした。

現在までに、容量100-300Wの小型風力発電機を中心に、ときには100-200Wの太陽光発電装置を組み合わせたハイブリッドシステムに、バッテリー付きの独立電源として牧民や農民が

居住する過疎地域に普及している。これまでに小型風力発電機を設置した家庭が13.6万戸（太陽光発電を併設している家庭も含む）、太陽光発電装置だけを設置している家庭が3千戸から5千戸ということである。したがって、約14万戸程度の未電化であった家庭が電化され、その総発電容量は2万kWから3万kW程度と推定できる。

（５）バイオマスと水力発電

すでに述べたように、現在でも再生可能エネルギーのなかで最もよく利用されているのはバイオマスである。昔から利用されてきた薪などの林産物や藁などの農業廃棄物は、とくに地方では重要なエネルギー源であり、内蒙古のエネルギーの1割近くはバイオマスに依存している（表3）。年間、薪や柴などの森林資源が約200万トン、稲藁や麦藁などの植物の茎を中心とする農業廃棄物が約500万トン、畜産の尿尿や有機物を嫌気性発酵して得られるバイオガス（メタン）が150-200万m³利用されている。筆者が訪問中、農村地域では燃料用の稲藁を、また牧民たちが家畜の糞を乾燥する光景は随所で観察された。しかし、石炭利用の普及により、近年、これらバイオマス利用の比率は高まっていない。資源量はまだまだ存在すると推定され、今後、その利用を積極的に推進すべきである。

内蒙古自治区の水力発電は1956年から開始され、1987年までに32の小水力発電所が建設され、総発電容量は3.07万kWである²²。水力発電は比較的雨量が多い東部の森林地帯を中心に展開されているが、表3からも明らかのように中国の他地域と比べるとあまり盛んではない。なお、水力発電関係の現地調査をする機会もなかった。

4. 21世紀における内蒙古の再生可能エネルギー利用の可能性

2-(2)で述べたように、内蒙古のエネルギーの大部分は石炭を中心に化石資源で賄われている。しかし、21世紀には大気汚染や地球温暖化などの環境破壊の防止と再生不能資源の枯渇を回避することが、重要課題になってくることが予想され、いまからエネルギー構造を再生可能資源の利用を中心とする持続可能なものに転換していくことが求められる。3-(2)や3-(3)で述べてきたように、内蒙古は風力発電については非常に先進的な取り組みを行っているが、風力資源はまだ豊富にある。また、太陽光発電やバイオマスについても、利用可能な資源は豊富に存在する。水力資源もある程度存在する。しかし、地熱資源の賦存量は少ない。ここでは、内蒙古自治区に存在する再生可能資源利用の可能性を検討し、21世紀の

持続可能なエネルギー利用の可能性を展望する。

(1). 風力発電の可能性

内蒙古には、風力が利用可能な地域は自治区面積の80%を占めるということから、946,400km²ときわめて広大である。しかも、その大部分が草原であり、山岳部などと比較すれば、設置しやすい地域が多い。仮にこの1%の面積に大型風力発電機を設置したとすると、発電容量と年間発電量がどの程度になるかを試算してみよう。通常、前述のように風力発電機の設置においては、1機当たりの専有面積は3D×10Dから10D×10Dの範囲にするのが普通である（Dは風力発電機のローターの直径）。そこで、発電容量（定格出力）600kW、1MW、1.5MWの風力発電機を、それぞれ1機当たりの専有面積を3D×10D、6D×10D、10D×10Dで設置した場合の結果を表7に示す。

設置風力機の 定格出力 (kW)	ローター直径 D (m) 注1	発電容量 (万kW)			年間発電量 (億kWh) 注2		
		3D × 10D	6D × 10D	10D × 10D	3D × 10D	6D × 10D	10D × 10D
600	48	8215	4107	2464	1439	719	431
1000	60	8762	4381	2628	1535	767	460
1500	64	11552	5776	3465	2024	1012	607

(注1；風力発電機の定格出力とローター直径は、NEG-Micon社のカタログに示されたデータを使用した。)

注2；年間発電量は風力発電機の利用率を20%として計算した)

表7 内蒙古自治区の風力発電可能な地域の1%の面積に風力機を設置した場合の発電容量と年間発電量

この試算によると、発電容量は600kW機を10D×10Dで配置した場合の最小値で2,465万kW、1000kW機を6D×10Dで配置した場合の中間値4,381万kW、1500kW機を3D×10Dで配置した場合の最大値1億1,553万kWとなり、

年間発電量は最小、中間、最大値でそれぞれ432億kWh、758億kWh、2,024億kWhとなる。なお、発電量の算出は風力発電機の利用率を20%としたが、灰騰席勒風力発電所の現在の利用率は29%、内蒙古全体でも25%程度と推

定されているので、この発電量はかなり控えめの値であると考えてよい。それでも、内蒙古の1996年の年間総発電量は323億kWhなので、最小の場合の風力発電だけで現在の電力を十分に生産できる。また、上記の風力発電による年間発電量を、「中国能源統計年鑑」で用いられている電力1億kWh=1.229万tce（石炭換算）として換算すると、石炭にして最小値で530万tce、中間値で940万tce、最大値で2,490万tceとなり、最小値でも1996年の内蒙古自治区の一次エネルギー総消費5,966万tceの約9%、最大値では40%以上に相当する。このことから、仮に設置面積を風力が利用可能な地域の数%から10%に設置したとすると、ほぼすべてのエネルギーを風力発電だけで賄える計算になる。

風力発電の導入は、環境保全の面からどのような効果があるだろうか。世界銀行によって、内蒙古に10万kWの風力発電を従来の石炭・石油火力発電の代わりに導入した場合に、削減できる石炭・石油火力発電量と二酸化炭素削減量と大気汚染物質の削減量が推算されている²³⁾。それによると、石炭火力は年間発電量230GWh分、石油火力は105GWh分を削減でき、それによって二酸化炭素排出量は年間80,200トンも削減できるのである。また、大気汚染物質では、浮遊粒子状物質を年間420トン、二酸化硫黄を1240トン、窒素酸化物を670トン、さらに有毒物質を10トン、それぞれ削減できる。しかも、現在の風力発電機は音も静かで、生態系に対する影響も少なく、草原や農地に建設しても牧畜や農業にも悪影響をもたらさない。

利用可能面積の1%から10%でも上述の発電量が可能であることから、今後のエネルギー消費の増加を考慮に入れても、内蒙古のエネルギ

ーの大部分を風力発電で賄えるだけの風力資源が賦存している。そして、風力発電の普及を通じて内蒙古の環境改善は大きく進展することは間違いない。小型風力発電機による未電化地域の電化は、きわめて順調な歩みをみせてきているが、デンマークやドイツなどの技術を導入して大型風力発電機の生産も内蒙古自治区で実施できるようにしていけば、地域の産業をさらに発展させ、多くの雇用を生み出していくこともできるだろう。現在の石炭依存型エネルギー利用体系から再生可能エネルギーのなかでは相対的に価格も低い風力発電を柱に据えたエネルギー利用体系の確立を目指すことが、内蒙古にとっては最適の選択である。

このような状況を考慮した場合、日本が風力発電の導入に積極的な対策をとり、そのことを通じて自国の風力発電関連産業を育成すれば、隣国の中国の風力発電の普及にも大きく貢献でき、同時に自国における未来型産業の発展と経済発展にとって大きなプラス効果をもつことが容易に理解できる。

（2）太陽光・熱の利用

内蒙古には太陽エネルギーも非常に豊富で、年間日射時間数は2600-3400時間あり、太陽エネルギー年間輻射量は4800-6400MJ/m²（1300-1800kWh/m²）で国内では第二位である。自治区の年間平均輻射量を1550kWh/m²と仮定すると、自治区全土が受ける年間エネルギー総量は約1800兆kWhにも達し、年間発電量の5.7万倍にも当たる莫大な量である。もちろん、これらのすべてを利用することは不可能であるが、自治区には莫大な太陽光資源が賦存していることがわかる。

太陽光の最も現実的な利用形態は、住宅の屋

根あるいは庭先に太陽光発電装置を設置する方法である。当面は、太陽電池が高コストであることを考えると、未電化地域の電化のために小型風力発電機とともに、太陽電池を活用することが最も有効である。自治区政府では2000年までに小型風力発電機15万台と太陽光発電装置250kW分を導入して、総数15万戸を電化する計画といわれる。内蒙古における太陽電池の生産能力は100kWに達しているが、まだ発電コストが高いことから、当面は未電化地域の電化の手段として太陽光発電を位置づけるのが最も適切である。

次に将来の導入可能な資源量を推定しておこう。内蒙古の全住宅に太陽光発電装置を設置するとして、どの程度の発電量が得られるだろうか。全住宅戸数を500万戸とすると、各戸に1kWの太陽光発電装置を設置すれば、発電容量にして500万kW、太陽電池のエネルギー変換効率を10%とすると年間発電量にして44億kWhとなり、1996年の年間総発電量の14%の発電が可能となる。現実には、草原に住む牧民家庭などでは屋根に設置せずに家の前の庭に設置している場合が多く、設置量を屋根の広さで制限する必要は全くない。日本で太陽光発電を設置する場合、通常、1戸当たりの太陽電池の設備容量は3kW程度であるが、内蒙古でも将来、同規模のものを設置するとすれば、現在の発電量の40%程度を賅えることになる。

量産が進んで太陽電池のコスト低下が実現した場合、もうひとつの可能性として、太陽光の資源量が豊富な地域で集中的に大規模発電を実施することが考えられる。内蒙古には、巴色吉林、騰格里、烏蘭布和など10大砂漠があり、その総面積は28.5万km²にも及ぶ。さらに、最近では毎年、0.24万km²ずつ農地や草原が砂漠

に変化している。この広大な砂漠は日照時間が長く、年間輻射量は1800kWh/m²程度と非常に高いため、効率的に発電することができる。砂漠の全面積に太陽光発電を設置したと仮定すると、その発電量は年間51兆kWhにもなるほどで、全砂漠面積の約6300分の1（全砂漠の0.16%）に太陽電池を設置するだけで、現在の内蒙古の全電力を賅えることになる。

砂漠における太陽光発電利用プロジェクトとして、三洋電機や東急建設など数社の日本企業による「シルクロードジェネシス構想」がある²⁴。これは、シルクロード沿いの砂漠地帯に太陽光発電基地を建設するという計画であるが、現在のところ、可能性調査がなされている段階で、まだ実行段階には入っておらず、具体的な見通しも立っていないようである。太陽光発電の普及にとって最大の障壁はコストが高いことであるが、次第に低下してきており、21世紀の早い時期にいずれこのような構想を実現できる条件も生まれてくるに違いない。

（3）バイオマス、水力発電等の利用推進

今後は、バイオマスを重要なエネルギー資源としてもっと積極的に活用していくことが望ましい。あらゆる農業廃棄物や畜産廃棄物をエネルギー源として利用し、その残さや燃えかすを農牧地に肥料として還元すれば、持続可能なシステムを確立できる。農業廃棄物である麦、稲、粟類、胡麻、向日葵などの葉茎は、すべて燃料として位置づけることが重要である。また、甜菜から得られる糖分を発酵させてエタノールを生産して燃料として利用することや、胡麻や向日葵などから得られる食用油は使用後に廃棄せずにメチルエステル化してバイオ・ディーゼルとして自動車などの燃料に利用することも検討

すべきである。

牧畜が盛んな内蒙古では、畜産廃棄物である家畜の尿尿と食品廃棄物や農業廃棄物などの嫌気性発酵で得られるバイオガス（メタンガス）の利用も、もっと積極的に推進する必要がある。ただ、放牧中の尿尿を収集することは困難で、夜間や冬期に家畜小屋などから収集するなどの方法を検討するべきだろう。

また、前述のように森林資源は豊富であり、木材資源としてだけではなく、エネルギー資源としての位置づけをも明確にして、持続可能な範囲で積極的に活用していくべきである。当面、木材生産の際に発生する廃棄物の有効利用を図れば、年間生産量の462.3万 m^3 （1994年）のうち、約3分の1程度が樹皮、おが屑、木屑などの廃材と考えられるので、150万 m^3 は利用可能である。さらに人工林における年間純生産量をエネルギー源として活用することを検討すべきである。

水力の利用については、大規模ダムによる発電は生態系の破壊につながるために、小水力発電を中心にさらに展開する必要がある。中国には、小水力発電装置を製造する郷鎮企業が多数あるので、この産業技術を十分に生かせばよい。

太陽熱を利用して調理をするソーラー・クッカーも、晴天が多い内蒙古には適した再生可能エネルギー利用形態であろう。持ち運びも楽で手軽に使い、安価で燃料資源の節約にもなるソーラー・クッカーは、とくに農牧民の生活に適した環境保全型調理器具と言える。

（４）持続可能なエネルギー体系の構築

環境に負荷を与えない「持続可能な社会」における生産体系は、すでに筆者が論じている²⁵⁾

ように次のようなものである。物的生産においては、自然から採取した金属やセラミックスなどの無機資源については廃棄せずに循環再利用し、植物や動物から得られる有機資源については可能な限り循環再利用しながら、最終的にはバイオマス・エネルギーとして利用するか、肥料などとして自然に還元することになる。エネルギー生産においては、バイオマスの利用以外に太陽由来の再生可能エネルギーを中心に据えることが基本である。

1990年代に入って、世界の動向はこのようなエネルギー体系への転換の兆しを見せ始めた。1991-7年の世界のエネルギー資源別の年間伸び率をみると、風力発電が最高で25.7%、次いで太陽光発電が16.8%、地熱3%、天然ガス2.1%、水力1.6%、石油1.4%、石炭1.2%と続き、原子力は最低で0.6%である²⁶⁾。このように再生可能エネルギーと化石資源のなかでは相対的に環境負荷が小さい天然ガスの伸び率が高く、環境負荷が大きい原子力、石炭、石油が低くなる傾向が明瞭に現れている。

内蒙古自治区でも、資源量が豊富な再生可能エネルギーの急速な拡大を21世紀前半に計画的に達成していくことが重要である。そのために、まず10年毎の達成目標と戦略を明確に打ち出す必要がある。たとえば、現在、総エネルギーの約9%を占める再生可能エネルギー比率を2010年には15%、2020年に25%、2030年に35%に高められる条件は十分にある。その場合、当面は比較的経済性があるバイオマスと風力発電に重点を置き、太陽光発電についてはコスト低下に伴って比重を高めていくというやり方がよいだろう。

また、普及戦略としては、社会主義社会の利点を生かして計画的優先的に普及を推進する制

度を構築すること、これまで内蒙古自治区が未電化地域の電化のためにとってきた小型風力発電機の牧民所有のようにエネルギー生産手段の住民所有を推進することが重要であろう。再生可能エネルギーは、従来の再生不能エネルギーとは異なる特徴があり、この特徴から、再生可能エネルギー生産手段は自治区内の自治体や住民が所有するのに適しているのである²⁷⁾。再生可能エネルギー資源は、ほぼどこにでもさまざまな形態で広く分散して存在し、その資源（光や風など）は特定の国や企業によって占有されておらず、自由に無料で住民でも使用できる。バイオマスには所有者はいるが、地域住民や農民であり、エネルギー源の対象となる農林畜産廃棄物や生ゴミなど、従来は廃棄物となってしまうものも多く、たいていの場合、安価に住民や地域による使用が可能である。さらに再生可能エネルギー生産手段はほとんどが小規模分散型である。火力発電や原子力発電などの再生不能エネルギー生産手段は、大規模で住民所有に適さないが、このような特徴をもつ再生可能エネルギー生産手段は、設置地域の住民による個人所有や共同所有、あるいは自治体などの社会的所有の方が適しているのである。このような社会的所有は、資本主義社会よりも社会主義社会において推進しやすいものである。

また、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーは、企業所有よりも住民所有などの社会的所有により普及が進みやすくなる。再生可能エネルギーの生産コストが従来のエネルギー生産コストよりも高い場合、企業所有での普及は進まないが、住民や地域集団は利潤獲得よりも生活改善や環境保全のために生産手段を所有しようとするため、再生可能エネルギーのような扱いやすく環境保全性に優れた生産手段は

経済性では劣っていても、社会的所有によって普及が進むのである。その証拠に、大型風力発電の普及が住民所有の多いデンマークやドイツでは他国よりもはるかに急速に普及が進んでいる。デンマークは風力発電の設備容量は178万kW（1999年末）で世界第三位、全電力の約1割を生産し、国土面積当たりでは断然世界一であるが、その設備の83.5%が住民による共同所有や個人所有である。すでにデンマークの風力発電設備容量は、2005年の国の達成目標である150万kWをはるかに超えている。次報で詳細を論じる予定であるが、内蒙古自治区における未電化地域の電化が成功しているのも住民所有を基本に据えているからと思われる。

さらに、地域住民所有や自治体所有のような社会的所有による再生可能エネルギーの普及促進は、さまざまな付随的效果をもたらす。たとえば、デンマークにおける風力発電の普及は、この国の風力発電機製造業を世界の半分のシェアを占める成長産業に育て上げ、新たな雇用を創出、拡大してきた。さらに、内蒙古自治区の大型風力発電の普及に役立つなど、途上国のエネルギー転換にも貢献している。内蒙古における小型風力発電の普及も同様の効果をもたらしている。また、住民所有が地域住民の社会的意識や環境意識の向上に大きな効果をもたらすことも明らかになっている。したがって、今後はあらゆる再生可能エネルギー生産手段を地域住民が共同あるいは個人所有できる政策や制度を整備することによって、環境保全的で持続可能な経済的発展を実現していくことが可能である。

おわりに

以上に述べてきたように、内蒙古自治区は豊

富な再生可能エネルギー資源を有しており、それを有効活用できる社会的条件も備えている。つまり、持続可能なエネルギー体系を実現する上で非常に有利な地域である。今後、住民の社会参加意識や環境意識を高め、その住民の力に依拠する民主的な政策をとっていけば、世界的にも優れた「持続可能な社会」を構築できる可能性を秘めている。内蒙古自治区の持続可能な未来をめざす絶え間ない努力が実る時期がくることを願ってやまない。

注

- 1) エネルギー資源学会、『エネルギー・資源ハンドブック』オーム社、1997
- 2) Global Commons Institute, <http://www.gn.apc.org/gci>
- 3) 日本経済新聞、1999.4.30. 北川秀樹『病める巨竜・中国』（文芸社、2000）75頁。
- 4) 平成10年度補助事業報告書『アジア諸国における新エネルギー導入に係わる情報提供』（新エネルギー財団、1999）。「中国（内蒙古）、フィリピン及びベトナムの新エネルギー事情」『NEF News』Vol.6, No.3（新エネルギー財団、1998）
- 5) 読売新聞、1998年8月9日付朝刊
- 6) たとえば『中国能源統計年鑑1991-1996』中の8頁にある「一次エネルギー生産量と構成」など。
- 7) 国家統計局工業交通統計司『中国能源統計年鑑1991-1996』（中国統計出版社、1998）
- 8) 『中国能源統計年鑑1991-1996』では石炭換算トン（tce）は、原炭1.4トン=1tce、原油0.7トン=1tce、天然ガス1万m³=13.3tce、電力1万kWh=1.229tce、バイオガス1400m³=1tce、植物茎1トン=0.5tce（1995年まで）または0.429tce（1996年）、薪柴1トン=0.57tceとして算出されている。
- 9) 謝仲元による推定値（1998年8月に聞き取り調査）
- 10) 『中国環境年鑑1996』（中国環境年鑑社、1997）、および『中国環境年鑑1997』（中国環境年鑑社、1998）
- 11) 日本経済新聞、2000年6月6日付。
- 12) 1986-90年のデータは内蒙古自治区科学技術誌編集委員会編『内蒙古自治区科学技術誌』（内蒙古人民出版社、1997）、1996、7年は『中国環境年鑑』（中国環境年鑑社）1996年版、1997年版より引用。
- 13) China Daily, Aug. 7. 1999
- 14) 『資料日中経済』、1998年2、3月号、p7
- 15) 内蒙古自治区科学技術誌編集委員会編『内蒙古自治区科学技術誌』（内蒙古人民出版社、1997）
- 16) 内蒙古自治区新能源弁公室『内蒙古自治区新能源開発利用工作回顧と展望』（内蒙古科技と経済、1997年第4期）、p27
- 17) 1999年8月林莉より聞き取り調査
- 18) 日本の森林の年間純生産量は、乾物量として平均12t/ha（越島哲夫『木を科学する』思文閣出版）。落葉広葉樹5-11t/ha、常葉広葉樹林・常葉針葉樹林12-24t/ha（菊沢喜八郎『森林の生態』共立出版）である。
- 19) 1999年8月劉瑞郷より聞き取り調査。
- 20) 灰騰爾勒風力発電所の王文国社長によると、この発電所のMicon社製600kWの風力発電機による年間発電量は150万kWhということであった（1998年8月聞き取り調査）。この値から計算すると、利用率は29%になる（この発電所での平均風速は7.1 - 7.2m/sということである）。そこで内蒙古の風力発電の平均利用率を25%と推定して計算した。
- 21) 和田武「温暖化防止を目指すデンマークとドイツのエネルギー対策」『日本の科学者』Vol.32, No.3, p.33-37（水曜社、1997）和田武「CO₂排出量の大幅削減をめざすデンマークとドイツのエネルギー対策」日本科学者会議・公害環境問題研究委員会編『地球温暖化防止とエネルギーの課題』253頁（水曜社、1997）
- 22) 内蒙古自治区科学技術誌編集委員会編『内蒙古自治区科学技術誌』（内蒙古人民出版社、1997）、665頁

- 23) "China Renewable Energy Project Development and Financing" <http://www.chinaenvironment.com/energy/energy.html>
- 24) 読売新聞，1998年8月9日付朝刊
- 25) 和田武「環境保全活動の進展と産業構造の展開」『環境情報科学』29巻，1号（環境情報科学センター，2000）
- 26) Worldwatch Institute, 1998
- 27) 和田武「生産手段の住民所有によるグリーン電力の普及」『太陽エネルギー』第26巻、3号（太陽エネルギー学会，2000）

Renewable Energy in Inner-Mongolia of China
– The State of Renewable Energy and the Possibility
of Realizing a Sustainable Energy System –

Takeshi WADA *

Abstract: The state of renewable energy utilization in Inner-Mongolia of China were researched by viewing some important facilities and interviewing some key persons in the energy sectors. Furthermore, the possibility of realizing a sustainable energy system in the 21st century was studied based on the renewable energy capacity. At present the proportion of renewable energy of the primary energy supply of Inner-Mongolia is lower than 9%; however, wind power has been rapidly increasing to result in the capacity of 45MW, which is 18% of the gross wind power capacity of China. In addition, biomass such as straw and wood is used noncommercially. It is estimated that a sustainable energy system would be realized by the adoption of policy promoting renewable energy use in the future, because the resource potential of wind, solar radiation and biomass is very high in Inner-Mongolia

Key words: renewable energy, Inner-Mongolia, China, wind power, biomass, solar energy, sustainable energy system

* Professor, of the Faculty of Social Sciences, Ritsumeikan University