

# 中国・内蒙古自治区における小型風力発電と太陽光発電の導入による牧民家庭の電化

和田 武\*

中国・内蒙古自治区には、大草原地帯に居住する牧民を中心に送配電線が配備されていない家庭が45万戸も存在する。本稿では、このような牧民家庭の電化の歴史と現状を調査し、それがもたらす影響を明らかにするとともに、その電化方式の意義について考察した。1980年、内蒙古自治区政府は独立電源として小型風力発電や太陽光発電を住民所有方式によって導入する独自の電化政策を開始した。それ以来、自治区科学技術委員会の指導のもとに独自の研究、開発、生産、普及、メンテナンスの体制が整えられてきた。自治区政府が1986年に補助金給付政策を採用して以来、住民所有方式によって100Wの小型風力発電機が急速に普及しはじめた。最近では300Wの風力発電機が最も広く使われ、100-300Wの太陽光発電装置もそれと併用あるいは単独で使用されている。こうして1999年までに13.6万戸が電化された。その結果、牧民たちの生活にテレビや冷蔵庫などの電化製品も導入され、利便性の向上や労働条件の改善、知的関心の向上や子弟の教育水準の向上などの好ましい変化が生まれた。また、風力発電機や太陽光発電装置の生産企業が大きくなり、地域経済にとっても好ましい影響が現れている。さらに、これによる環境保全効果も大きい。ディーゼル発電機導入による電化と比較して、これまでに二酸化炭素排出量にして約3万トンの放出を防止していると推算され、大気汚染物質の排出削減なども含めて、地球と地域の環境保全に貢献している。この内蒙古の住民所有電化方式は、世界の発展途上地域に存在する多数の未電化家庭に環境保全的に電力を供給するひとつの優れたモデルであると評価できる。

**キーワード：電化，小型風力発電，太陽光発電，再生可能エネルギー，内蒙古自治区，中国，住民所有，持続可能なエネルギー利用**

## 目次

### はじめに

1. 調査方法
2. 内蒙古における未電化地域の電化の経緯と現状
3. 小型風力発電機・太陽光発電機等の開発と生産
4. 小型風力発電機・太陽光発電装置等の普及方法
5. 自然エネルギー電化推進事例と地域・家庭への影響
6. 自然エネルギー電化推進の環境保全効果
7. 自然エネルギー電化推進の意義と課題

おわりに

## はじめに

前報で内蒙古自治区における再生可能エネルギーの導入状況について現地調査結果に基づいて明らかにし、自治区での将来の持続可能なエネルギー体系構築の可能性について論じた<sup>1)</sup>。そのなかで、未電化地域の電化の方法として小型風力発電機や太陽電池を独立電源として大草原に分散居住する牧民家庭を中心に導入推進策がとられていることを簡潔に紹介した。これは

\* 立命館大学産業社会学部教授

中国でも内蒙古自治区政府だけが推進している固有の政策である。本稿は、この小型風力発電機や太陽電池からなる小規模再生可能エネルギー発電手段の導入対策の経緯と現状、およびその導入による牧民社会や彼らの生活の変化、関連産業の発展、環境影響などの社会的影響に焦点を当て、現地調査結果に基づいて現状と課題を明らかにし、発展途上国に広く存在する未電化地域の電化のあり方について考察することを目的とする。

内蒙古自治区における小型風力発電導入による未電化地域の電化に関しては、わが国ではこれまでに内蒙古自治区新能源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る<sup>2)</sup>が、その導入がもたらす影響に関する研究はなされていない。筆者は、前報でも述べたように、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。本研究は、その際に実施した自治区のさまざまな担当部局や研究機関における聞き取り調査、小型風力発電機メーカーや牧民家庭の訪問調査を含む現地調査、さらにその際に入手した情報や文献資料等に基づいて実施した。

未電化地域の多い発展途上国において、電化や高度なエネルギー利用を環境破壊をもたらさない方法で推進するために、小型独立電源として利用可能であり、かつ広く遍在する天然資源を地域住民が自由に利用できる風力発電や太陽光発電の活用あるいはバイオマスの燃料利用などが、今後、重要性を増してくると推定される。もちろん、このような未電化地域では伝統的な薪や家畜糞などのバイオマスの直接燃焼によるエネルギー利用が行われてきたが、より快適な

生活を可能にするためのエネルギー需要とくに電力利用への期待が増大する傾向にあり、それを満たすためにディーゼル発電などの化石燃料を用いる発電手段の導入が増加しつつある。しかし、このような再生不能資源に依拠するエネルギー利用は地域と地球環境にさまざまな負荷をもたらすだけでなく、住民が燃料を購入し続けなければならない経済的負担が大きい。そこで、それに代わる小規模再生可能エネルギー発電手段の導入を重要な戦略として位置付ける必要がある。ただ、これらの発電手段は現代的な高度技術に依拠するものであるだけに、その導入による自然環境ならびに地域社会や家庭生活に与える影響について十分に検討しておかねばならない。

また、筆者は、すでに小規模分散型の再生可能エネルギー発電手段は住民所有に適しており、住所所有の方が普及促進に有効であることを先進国の事例に基づいて論じてきた<sup>3)</sup>。今後、発展途上国での再生可能エネルギーの普及を推進するためにも、普及事例における住民関与の形態について調査し、そのあり方を考察することは必要であろう。

以上のような観点から、先進的で典型的なモデルとして内蒙古のケースを研究することは非常に意義があると考えられる。

## 1. 調査方法

前報で述べたように、内蒙古自治区科学技術委員会主任・謝仲元氏（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構築のための提言など、研

究に協力してほしい旨の要請を受けて、1998年と99年の2度にわたり7月末から8月初旬のほぼ同時期に内蒙古自治区を訪問し、調査と資料収集を行った。本研究に関して調査を実施した機関・場所と対応責任者は以下の通りである。なお、現地の案内は内蒙古自治区科学技術開発中心主任・劉岩氏と内蒙古科技信息研究所研究室主任・劉建新氏に、また通訳は現在、内蒙古科学技術委員会所属で神戸市外国語大学大学院在学中の馬瑞平氏に務めていただいた。

「内蒙古自治区新能源弁公室」林莉主任、  
(1999年調査)

林莉主任は女性であるが、再生可能エネルギー普及の分野に最初から関わってこられた方で、科学技術委員会の会議室内で内蒙古自治区における再生可能エネルギーに関する全般的な動向を聞くことができた。何度か来日の経験もあり、足利工業大学の牛山泉教授とは旧知であるとのことであった。

「内蒙古工業大学」および「内蒙古自治区自然エネルギー研究所（自然エネルギー研究所）」の劉志章教授（1998年調査）

劉志章教授は内蒙古工業大学と自治区新能源研究所（自然エネルギー研究所）の教授を兼任しており、内蒙古における風力発電や太陽光発電などの環境保全的機器の開発研究の中心的存在である。呼和浩特市郊外にある新能源研究所に案内していただき、そこで研究開発状況を中心に話を伺った。研究所は田園地帯にあり、ほぼ1ヘクタールほどの敷地の中心部に地球を模した直径10mほどの球状の研究所の建物があり、それを取り巻く庭にさまざまな形状をした小型風力発電機が10基ほどと太陽電池パネルが2-3個配置されていた。当初、科学技術委員会の発想は風力発電機などの展示用施設であ

ったが、自治区政府や風力発電機メーカーからの資金援助もあり、研究施設となったとのことである。

「内蒙商都牧機社」楊彬社長、張言弁公室主任、安鵬会計師（1999年調査）

内蒙商都牧機社は呼和浩特市の東北東約300kmほどの商都にあり、小型風力発電機製造企業としては世界でも最大の企業である。楊氏は高級エンジニア（技術士）の資格をもつエンジニア出身であり、技術開発・製造の中心的役割を果たしてきた方で、中国の風力発電関連産業の全般的な事情と内蒙商都牧機社の活動状況を詳細に聞くことができた。また、楊彬社長自らの案内で工場内を見学することができた。さらに、中国企業では珍しくカラフルなパンフレットと製品カタログを入手することができた。

「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）

蘇尼特右旗は面積が2.67万km<sup>2</sup>、人口6.8万人、平均気温4.3度C、年降水量170-190mmで大草原地帯を抱える牧民の多い旗である。この旗内の牧民家族の電化の普及方法、進捗状況、普及による社会的影響などについて、楊主任から聞き取り調査を行った。

錫林郭勒草原の牧民家庭（1999年調査）

錫林郭勒草原に点在する牧民家庭のなかで、丹波、色登、朗図、那木斯来の4氏の家庭を蘇尼特右旗科学技術委員会楊主任の案内で訪問し、現地観察と聞き取り調査を実施した。

## 2. 内蒙古における未電化地域の電化の経緯と現状

内蒙古自治区は日本の3倍強の面積118.3万km<sup>2</sup>をもち、その74.6%が草原である。人口

は2,261万人（1994年末）で人口密度は低く、広大な草原に分散居住している住民が数多く存在する。このような地域では送配電網の設置等が困難であるため、未電化村が1,600村あり、送配電網がない大草原に点在する牧民家庭が45万戸もある。これらの地域の条件にふさわしい電化を推進することは、自治区の重要課題のひとつである。このような条件下では、化石資源やウランを燃料とする大規模集中型の火力発電や原子力発電よりも、むしろ地域に豊富に存在する風力、太陽光、バイオマスなどの再生可能資源を利用する小規模分散型のエネルギー生産手段を利用する方が、環境的に好ましいだけでなく、経済的にも有利である。

内蒙古の風力資源は、草原地域を中心に非常に豊かで全区の平均風速が3.7m/秒、全面積の80%が風力利用可能地域であり、前報で述べたように大型風力発電機の導入も急速に進んでいる。とりわけ障害物のない草原はどこでも安定した風力を利用できる条件がある。また、太陽エネルギーも豊富で、年間日照時間は2,600-3,200時間もあり、年間太陽エネルギー輻射総量は4,800-6,400兆ジュール/m<sup>2</sup>に達し、中国の省・自治区ではチベットに次いで2番目に豊かな地域である。

内蒙古自治区は、このように風力発電や太陽光発電を利用するのに最適の地域であるため、自治区政府は再生可能エネルギーの普及体制を整備すると共に、小型の風力発電機や風力揚水機、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る。

その経緯を、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）・劉志章教授、さらに内蒙古自治区科学技術委員会・謝仲元主任からの聞き取り調査と、入手できた資料<sup>4)5)</sup>に基づいてまとめておく。

内蒙古自治区での再生可能エネルギーへの取り組みは、1958年頃から始まるが、1970年代には風力エネルギー転換装置・発電装置の開発などが行われ、1975-76年頃に小型風力発電機や小型風力揚水機の生産が行われるようになった。しかし、まだ高価であったことなどのため、1970年代の利用はわずかなものであった。

1980年、自治区政府は再生可能エネルギーの導入政策を掲げ、省局長レベルから構成される新エネルギーリーダーグループを結成するとともに、その補佐機関として新能源弁公室を設置した。その後、新能源弁公室は、新エネルギー・再生可能エネルギーの普及促進のための政策や計画の作成、科学研究、実験、普及活動などの企画や指導を行ってきた。その具体的目標として、未電化状態におかれている牧畜地域や辺境地域（当初、45万戸の未電化家庭が牧畜中心の24旗と半農半牧の19旗に存在した）の電化を掲げ、小型風力機を生活や生産に利用できるように取り組んできた。研究開発は内蒙古工業大学などの大学や研究機関に委託して実施されてきたが、その核として1997年には世界銀行からの資金援助も得て後述の「内蒙古自治区自然能源研究所（自然エネルギー研究所）」が設立された。なお、これらの研究開発の成果となる装置や機器の生産は民間企業によって行われてきた。

1986年に、自治区政府は小型風力発電機および太陽光発電装置を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するための助成政策を開始した。普及方法の詳細

細は後述するが、牧民や農民が自らの資金でこれらの装置を購入する住民所有方式を採用し、必要経費の一部を自治区政府が補助する方法で普及が図られている。当初は最大出力100Wの小型風力発電機を中心に普及を始めたが、次第に出力の大きいものが望まれるようになり、最近の主力風力発電機は300Wになっている。また、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も普及させている。

補助金付きの住民所有による普及システムを採用したことが、他の省・自治区に見られないようなめざましい普及が内蒙古では進んだ要因である。以前は電化を望む少数の家庭がディーゼル発電を導入していたが、これらの家庭でも次第に風力発電等への転換が進んでいる。こうして現在までに、内蒙古の送配電網が届いていない45万戸の牧民家庭のうち13.6万戸に風力発電機単独あるいは太陽光発電とのハイブリッドシステム設備が設置された。中国では、新疆ウイグル自治区や青海省でも小型風力発電機が販売されているが、助成制度がないためにあまり普及していないようである。

太陽光発電は、1998年までに家庭単位設置分としては240kWが設置された。太陽光発電だけを設置した住宅数は3-5千戸で、1戸当たり数10W程度の小規模容量の設置が多い。それ以外に、過疎農村地域では村落単位で4-10kW規模の集中型太陽光発電設備を設置している。また、1997年までに家庭用の太陽熱温水器は12万 $m^2$ 、冬期の家畜用太陽熱温室660万 $m^2$ が導入されており、農民や牧民の生活向上に役立っている。

自治区政府としては、新エネルギー普及計画に基づいて、2000年までに小型風力発電機を15万台、太陽光発電装置を250kW導入するこ

とで、15万戸の電化を達成する予定である。また、太陽熱温水器を15万 $m^2$ 導入し、風力揚水機や太陽熱利用（暖房や家畜飼料の乾燥用）も普及を推進することになっている。さらに、2010年までに牧民家庭の50%を電化し、80%に太陽熱温水器を導入する予定である。

### 3. 小型風力発電機・太陽光発電機等の開発と生産

#### (1) 小型風力発電機・太陽光発電機等の研究開発

まず、研究開発に関して、内蒙古工業大学劉志章教授（動力系）からの聞き取り調査結果を中心にまとめておく。

小型風力発電機・太陽光発電機等の研究開発については自治区だけでなく中国国内の大学や研究機関の協力を得て推進してきた。大学では内蒙古工業大学、内蒙古農業大学、中国精華大学、ハルビン電子工学院、研究機関では中国農業科学研究院草原研究所、中国電機工業研究所、中国水利部水利科学研究所などであるが、1997年には「内蒙古自治区自然エネルギー研究所」が内蒙古自治区科学技術委員会の下に設置され、10数人のスタッフ（大学と兼職、教授4名）が研究開発に従事している。また、啓蒙活動のために再生可能エネルギー設備を展示した「自然エネルギー村」も建設されている。研究開発費は自治区政府から出されている。

風力発電に関しては福建省でも研究開発がなされているが、小型風力発電は内蒙古が中心になっている。これまで技術開発はほとんど外国に依存せずに独自に進めてきたが、最近になって諸外国の協力も得られるようになり、スウェーデンやアメリカからは出力750W-1kWのや

や大きい小型風力発電機の技術を部分的に導入した。デンマークとは、大型風力発電機生産、とくに羽根の自動生産を目指して協議中であり、ドイツも協力する可能性が出てきている。

こうして国内技術を中心に、多種類の風力・太陽光エネルギー利用機器を開発してきた。小型風力発電機（50 W-10 kW）、風力揚水機（深さ2-5.2 m揚水）、太陽電池、家庭用暖房装置（人間および家畜用）などである。

今後は新しい機種の開発を推進すると共に、製品の性能と品質の向上、直流/交流インバーター等の周辺機器の開発も推進していく予定である。

## （2）小型風力発電機・太陽光発電機等の製造

次に製造に関して、林莉主任からの聞き取り調査、最大のメーカーである内蒙商都牧機社の現地調査と本社楊彬社長からの聞き取り調査、および同社の製品カタログをもとにまとめておく。

中国における小型風力発電機等の生産は、国内にある40社、うち内蒙古自治区の5-6社の民間企業で実施されており、年間生産量は風力発電機が3万台/年、太陽電池は10万W/年に達している。大部分が国内向け製品であるが、小型風力発電機については海外輸出も行われている。

これらの企業の中で圧倒的な生産シェアを誇るメーカーの内蒙商都牧機社について、以下にその歴史的経緯と現状、および若干の問題点を述べる。

内蒙商都牧機社は内蒙古自治区商都旗三大鎮に1958年に国営の農業機械メーカーとして創立された。30年程前から小型風力機の研究開発を開始して、1975年から小型風力発電機、1976年から小型風力揚水機を生産を開始した。

これまでに自治区に設置された小型風力機の過半数を越える7万機以上を生産してきた。現在、国内の風力発電機生産の75%のシェアを占め<sup>5)</sup>、中国国内に40社ある風力発電機メーカーで最大であるばかりでなく、小型風力機生産では世界一で80カ国への輸出実績もある。現在、この企業の売り上げのうち、風力関連機器が全体の80%を占め、1987-90年の年平均伸び率は30%、最近でも15-20%も伸び続けている。数年前から小型風力発電機と太陽電池を組み合わせたハイブリッド発電システムの生産も行っている。今後もこれらの生産が伸び続けることは確実視されている。

現在もこれらのエネルギー関連機器と農業機械を生産しているが、前者が売り上げ全体の80%を占めるまでになっており、毎年、8千機以上の風力発電機を販売している。こうして、将来性のある産業として自治区の経済発展と雇用の創出に貢献しており、現在の従業員は300人であるが、さらに増加傾向にある。

現在、内蒙商都牧機社が生産しているエネルギー関連機器は以下の通りである。

小型風力発電機は出力50 W-7 kWまで11種類あり、いずれも3枚羽根の垂直軸方式の風車である（写真1を参照）。それぞれの出力



写真1．内蒙商都牧機社の前にあった300 W小型風力発電機

(rated output power) は50W, 100W, 200W, 300W, 500W, 750W, 1 kW, 2 kW, 3 kW, 5 kW, 7 kWで、風速6 m/秒(50Wと100W機)から10.5m(7 kW機)になれば、これらの出力に達する。最大出力はこれらより大きく、たとえば300W機の場合には風速12m/秒前後では500W以上の発電能力がある。風車がまわりはじめ、発電を開始するカットイン風速は2-3 m/秒である。羽根(ブレード)の直径と塔(ポール)の高さは、2 mと5 m(100W機)から6.5mと12m(5 kW機と7 kW機)、300W機の場合は2.5mと6 mである。発電機は500W機以下では永磁式、750W以上では共磁式、励磁式、稀土永磁式などが採用されている。風力発電機の総重量は100kW機で100kg, 300kW機で175kg, 1 kW機で450kgであるが、2 kW機になると塔が日本の高圧線鉄塔のような形になり1,500kgにもなる。なお、これらの風力発電機の使用対象は、1 kW以下の機種の場合は1戸の家庭用、1 kW以上は村落単位など複数戸の共同用として利用されている。

工場見学では風力発電機の製造はまだ手作業の工程が多いのが目についた。ブレードはFRP(繊維強化プラスチック)製であるが、これはブレードの形状に切ったガラス繊維製布に



写真2．内蒙商都牧機社の工場では発電機のコイルを巻いている労働者

高濃度の熱硬化性樹脂溶液を塗布し、さらにその上に布を重ね、樹脂溶液を塗布する作業を繰り返す方法で、製造していたが、すべて女子労働者の手作業で進められていた。また、興味を引いたのは、発電機用の銅線コイルを巻く作業(写真2)で絶縁材として竹が利用されていたことである。絶縁性や耐久性など、材質的にも非常に優れていて安価であるとのことであった。

ブレードは曲げ強度試験など、一定の製品試験を施していた。検査によって基準を合格したものだけ出荷しているとのこと、とくに不良品など、問題になることはほとんどないとのことであった。

労働環境として、ひとつだけ気になる点があった。ブレードの製造過程で溶剤の匂いが強かったが、とくに排気設備などもなく、窓を開放した室内での作業がなされていた。楊彬社長は、溶剤については石油系とだけ答えていたが、匂いからトルエンなどの芳香族系溶剤を使用しているようであったことから、肝臓障害などの労働災害が起きる危惧が感じられ、今後、排気設備を設置するなどの改善の必要性があることを指摘しておいた。その作業室が他の組み立て工程などを行う主工場と離れた位置に置かれていたのは、他の労働者への影響を考慮していたからと思われた。

### (3) 国内の他省、海外への小型風力発電機の輸出

内蒙商都牧機社は、中国国内の29省に風力発電機を販売している。

国際的には、とくにインドネシアには数百台も輸出しており、その他に、モンゴル、韓国、フィリピン、タイ、マレーシア、シンガポール、

パキスタン、オーストラリア、ニュージーランド、ロシア、スウェーデン、ドイツ、ルーマニア、シリア、アメリカ、カナダ、キューバ、ブラジル、ボリビア、アルゼンチン、ギニア、日本にも輸出しているとのことである。

なお、企業の敷地内には、さまざまな種類の風力発電機が設置され、試験されていたが、そのなかに30mと非常に高い塔（ポール）につけた風車も実験されていた。これは熱帯樹林のなかでも設置できる製品として、すでにインドネシアなどの熱帯諸国向けに輸出されているとのことであった。

#### 4．小型風力発電機・太陽光発電装置等の普及方法

無電化地域をなくしていくことは、中国政府の方針でもある。国家計画委員会「光明工程（プロジェクト）」では、2000年以降、5年以内に全国の無電化家庭、約800万人に電力を供給することになっている。内蒙古自治区は小型風力発電や太陽光発電のような再生可能エネルギー発電を活用して積極的に電化政策を推進してきた。ここでは、その普及方法について林莉主任、劉志章教授、楊彬社長から得られた情報に基づいて述べる。

当初、牧民たち住民が積極的に電化を望んでいたわけではなかった。普及の初期には、牧民に風車を無料で提供するといっても「そんなものはいらぬ」という人々もいたし、実際に風車を設置しても壊してしまうものもいたほどである。電化の意味や利便性を彼らが十分に認識していなかったからである。ところが、各地域の村長の自宅などで風力発電機と一緒にテレビなどの電化製品を持ち込んで展示の催しをした

ところ、関心をもって数十kmもの距離を馬やラクダに乗って集まり、急速に導入したいという要求が生まれるようになった。

普及は住民が戸別あるいは共同で風力発電機を現金で買い取る方法で行っている。しかし、彼らの収入（内蒙古自治区牧民の平均収入は約2,500元）からすると風力発電機（300W機の価格が3,000元）に電化製品を加えて購入することは相当大きな経済的負担になる。そこで内蒙古政府は、前述のように1986年から助成制度を設けて普及を促進することにした。当初は最大出力100Wの小型風力発電機の普及を行ったが、その際、1機当たりの価格1,000元（約1.5万円）のうち、自治区政府が200元の助成をすることにした。このような補助金付きの住民所有による普及策を採用したことが、この計画を成功させてきた重要な原因であろう。

助成制度はその後も続いている。最近の主力風力発電機は300W程度、さらに100-200Wの太陽光発電装置を組み合わせたセットも普及させているが、このような場合、風力発電100Wまたは太陽光発電16Wの購入につき、自治区政府より200元を助成している。現在でも価格は風力発電機が10元（約150円）/W、太陽電池が80元/Wなので、風力発電機は価格の20%、太陽電池は16%程度の助成率である。1986-98年の間に2,800万元の助成を行い、その結果として、内蒙古自治区ではこのような助成制度がない他の省・自治区に見られないようなめざましい普及が進んだのである。他地域からは「市場経済下での内蒙古の助成制度は地域保護主義である」との批判もあるが、内蒙古自治区としてはこの制度を今後も継続する予定である。

普及形態としては、草原の牧民家庭のように隣家との距離が数kmあるいは10km以上も離

れている場合には、戸別に設置するしかないが、集落の場合は共同で設置することもある。50戸からなる村では装置の出力は10kW以上が標準である。これまで自治区内では、50村以上が風力発電や太陽光発電によって共同で電化している。このような共同所有の場合も上述と同様の基準で助成がなされる。将来的には、村単位ではなく、戸単位中心に電化していく方針であるが、国の方針による影響も受ける可能性は否定できない。

補助金は製造企業が受け取り、販売部門にその分を値引きして製品を渡している。販売部門はコストの11%分を上乗せして販売し、その資金で2年間は故障の場合に修理を保証している。部品交換するときはその価格に16%上乗せして販売している。メンテナンスや故障修理の体制を確立することは、普及を推進する上で非常に重要なことである。そのような体制として、牧畜関係43旗に農業地域を含めた送配電網がない約50旗に56の新エネルギー技術普及ステーションを設置し、各ステーションには5-6人の技術者を配属して、装置の設置、部品組立、修理などを実施している。各旗に少なくとも1カ所のステーションを置き、全ステーションで総数300人以上がスタッフとして働いている。また、各村の住民のなかから技術者を養成し、簡単な修理サービス程度はできるようにもしている。

先進的地域の例として、東烏珠穆沁旗（トゥンウーズームーチンチー）では、5,400戸の牧民家庭はすでにほとんどが風力発電か太陽光発電などで電化されており、さらに2005年までに4,000家庭に出力400-500Wのハイブリッド型発電システムを導入する計画を建てている。このような計画が可能であるのは、この地域が全体

として裕福であるからである。この地域は家畜頭数も数千頭に及ぶ牧民家庭もかなりあるなど、内蒙古全体の牧民の平均年収2,500元程度を大きく上回る4,000元以上もある。

## 5. 自然エネルギー電化推進事例と地域・家庭への影響

独立電源としての風力発電等での電化による牧民や地域社会への影響について調査するために、1999年8月5-6日に蘇尼特右旗科学技術委員会の楊主任や牧民たちを訪問し、現地観察と聞き取り調査を行った。それらの結果について述べる。

### （1）蘇尼特右旗科学技術委員会・楊主任

この旗は全国一の広大な草原があって牧民も多い地域であるが、隣家との距離は数kmから30kmのところもあり、遊牧生活をしていた頃は牧民でも道に迷って死亡する者もいたほどのところである。かつてこの旗は未電化の家庭が非常に多かった。ところが、この地域の平均風速は5.3m/秒と風力資源に恵まれており、国が1970年代にここで最初の風力発電実験を行ったことや電波中継用鉄塔が各地に建設されてテレビや電話などが使用できる条件があることなどもあって、電化政策の推進によって非常に電化率が高い地域となった。現在では、牧民家庭の97-98%に当たる5,800戸が、風力発電、太陽光発電、ディーゼル発電などの独立電源と少数であるが送配電線の設置によって電化されている。このうち風力発電によるものは4,900戸で電化家庭全体の70%以上に相当する。この地域の普及率は内蒙古でもトップクラスになっている。

楊主任は元・中学校教員であるが、22年前から旗政府の再生可能エネルギーの普及を促進する業務を担当するようになり、現在は9名のスタッフで再生可能エネルギー装置・部品の販売、設置、修理等に従事している。年間200日以上は旗内の各地を巡回し、業務を行っており、機器の故障などへの対応も早いので、牧民たちからも非常に信頼されている。同行の劉建新氏によると、このような楊主任をはじめとする優れたスタッフの日常的な努力がこの地域の普及率を高めた最大の要因であるとのことであった。

電化の推進による影響は、住民の生活向上や社会意識向上など、非常に大きいようである。当初は普及の中心であった出力100Wの風力発電で照明、ラジオ、12インチ小型テレビ等が使用でき、出力300W以上になると小さい冷蔵庫（冷凍庫）も使用可能となり、さらに300W風力発電機と200W太陽光発電装置からなるハイブリッドシステムでは、20インチTVや洗濯機も使用可能となる。電化前と比較すると、夜間の有効活用が可能になり、外部情報を得ることで社会的関心の向上、教育・学習に役立つなど、住民の意識変化が生じている。地域間交流なども進み、人間関係も改善されている。また、家畜の飼育・管理面でも役立ち、気象や科学的牧畜などの情報も得られるなど、生産面にも貢献している。冷凍庫の導入は畜肉の保存に役立ち、肉食の比重が高い牧民には健康面からのメリットも大きい。また、このような家庭用電化製品以外に、電動揚水ポンプや揚水用風車の導入により地下水の汲み上げができるようになり、河川や池が少なく、地下水以外の水源に乏しい草原での生活や労働の改善に役立っている。

## （2）丹波さん宅（錫林郭勒草原）

蘇尼特右旗政府人民大会代表で村長を務める丹波（ダンパー）さん（53）と旭仁（シューレン）さん（50）夫妻は、3人の子息（男2と女1）がいるが、長男（27）は別居して、次男と娘、それに家畜の世話の手伝いをしている16才と8才になる叔母の子どもたちの6人が、石造りの家と隣接する土づくりの家（各3室ずつ）に居住している。楊主任によれば、勤勉で模範的な家庭で牧民家庭としては裕福な方ということである。家畜は牛20頭余、羊800頭余を飼っている<sup>6)</sup>。夫妻とも朴訥で口数も少ないが、快く迎えてくれ、質問に答えてくれた。

ここの庭先には50Wの太陽電池パネル15枚が設置され、家の片隅には自動車用と同様のバッテリーが並べられて蓄電もされている。電気製品は、各部屋の電灯と、テレビ、ラジオ、冷凍庫（主に肉の保存用）、洗濯機、揚水ポンプ（220V）がひとつずつ備えられている。

「1982年に出力100Wの風力発電機を設置してはじめて電気が使えるようになり、二つの電灯と小さい白黒テレビを使用しはじめた。その当時は、土づくりの家1戸と遊牧用のパオふたつがあったが、遊牧の際には風車をパオと一緒に持ち歩いたこともある」。

「電化による生活の変化は非常に大きい。夜も楽しみが増え、仕事もしやすくなった。外部世界の情報も得られ、知識も増えた。揚水ポンプで地下水が使用できるようになり、狭い畑だが野菜の栽培も行っている。雨が少ないので、それまでは野菜はつくれなかった。また、冷凍庫を設置したことで、肉を新鮮な状態でいつでも食べることができるようになった」。

現在では牧民の生活に発電設備は必需品になっており、「若い牧民男性は結婚する頃になる

と、家とともに発電設備や電化製品を用意しなければならないようになってきた」そうである。

### （3）色登さん宅（錫林郭勒草原）

色登さん（50）夫妻は、13、15、18、20才の娘4人と6人家族で暮らしている。ただし、末娘の写吉莫ちゃんは小学校5年生在学中で通学のために町に部屋を借りて住んでいるので、学校の休暇期間以外は5人家族で4室の石造りの家に住んでいる。家畜は牛35-36頭ほど、羊900頭ほどとのことで生活水準は上のレベルである。所有地の広さは9,300畝（ムー）ということで約620km<sup>2</sup>に相当する広大なものである<sup>7)</sup>。

この家庭では、「1984年に出力100Wの風車、1998年には200Wの風車を設置した。電気製品としては、電灯、カラーテレビ、ラジオを使用

しているが、冷凍庫などはまだない。太陽光発電も導入して冷凍庫も使用できるようにしたいと考えている」。

「風力発電機を導入したことで生活上大きな変化があった。まず、電灯がついて夜でも家の中が明るくなり、家族やときには隣人たちとも団欒ができるようになった。また、夜間に仕事もできるようになった。みんなの気持ちまで明るくなったように思う」。

「畜舎にも非常のときにはバッテリーを持ち込んで電灯が使えるようになり、家畜の出産の世話がしやすくなり死産なども減った。また、テレビの導入で、家畜飼育、天気予報、健康や看護の情報など、仕事や生活に必要な情報が入手できるようになった。娘達は全員、中国語をテレビで学んだ<sup>8)</sup>。科学技術の進歩などの外の世界の動向も得られるようになった」。



写真3 300W風力発電機と太陽光発電装置



写真5 窓際に置かれた小さな冷蔵庫（白い箱形のもの）



写真4 部屋に置かれていたテレビとラジオ



写真6 奥の部屋の隅に置かれていた蓄電用バッテリー

（4）朗図さん宅（錫林郭勒草原）

旗政府機関の仕事をしている公務員の朗図さん（51）は楊主任の中学時代の同級生である。牧業をきりもりしている妻（45）との間に4人の子ども（男3，女1）がいて，6人家族で石造りの5室の家に住んでいる。朗図さんは専門学校卒で，この地域では高学歴のエリートに当たるが，子どもたちも身体障害者の長男（27）以外は次男（25），三男（18）は専門学校卒，長女（20）は高校卒とこの地域では高学歴で，次男と三男は地方公務員をしている。家畜は牛180余頭，羊800余頭，馬64頭を飼育し，土地は40,000畝（2,700km<sup>2</sup>）くらいで，非常に裕福な牧民家庭である。

「1980年にはじめて100Wの風車を設置し，電灯と白黒テレビが使用できるようになった。当時は，まだ2-3ヶ月ほど家を離れて遊牧することもあったが，そのときはパオと一緒に風車を持ち歩いて使用した。1997年に300W風力発電機と100W太陽電池のハイブリッドシステム（写真3）を設置し，3部屋の6つの電灯，二つの18インチカラーテレビ，ラジカセ，冷凍庫（写真4，5）の電力をまかなっている。揚水ポンプも持っている。バッテリー（写真6）は自動車用と同様のが24個あり，畜舎の照明用に使用するバッテリーもある。最初の風車は知人にあげたが，いまでも使われている。」

「電化されてから生活レベルが向上した。夜にも仕事ができるようになったし，子どもたちは夜も本を読んだり，勉強もできるようになった。テレビやラジカセから情報を早く得られるようになり，助かっている。冷凍庫で長期間にわたって肉の貯蔵ができるようになり，食生活もしやすくなった。」

（5）那木斯来さん宅（宝勒德烏素・錫林郭勒草原）

この家庭は訪問を予定していなかったが，通りすがりに風車があるのを見つけて，話を聞くことにした。

那木斯来（ナムスライ）さん（52）さんは妻（52）と29才から16才までの4人の子ども（男2，女2）の6人家族である。30-40頭の牛と300-400頭の羊を飼っている。牧民としては経済的に中流の家庭である。この家は上記の三例と異なり，旗の中心部の町まで数十kmと比較的近い位置にあり，小さいトラックも持っていて野菜などを買いに行くこともできるようであった。

「設置時期は正確には覚えていないが，10数年程前に100Wの風車を設置し，大きい部屋の電灯と白黒テレビを使用している。夜は以前は酒を飲むくらいしかなく，早く寝ていたが，いまは家族が集まってテレビを見るのが夜の楽しみになっている。また，ときには家でできる仕事をすることもある。」

## 6．自然エネルギー電化推進の環境保全効果

内蒙古の草原地帯のように実質的に送配電網の設置が困難な未電化地域においては，電化は独立電源による方法に依存せざるをえない。独立電源としては，風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギー利用以外に小型ディーゼル発電などの利用も考えられる。実際に，内蒙古自治区でも，以前はディーゼル発電機を購入する例もあったが，最近はそれを設置していた家庭でも風力発電や太陽光発電に切り替えが進んでいると言われる。したがって，もし風力発電や太陽光発電の導入推進政策がとられなていな

ければ、ディーゼル発電のような化石燃料を利用する電化がもっと進んでいたと推定される。

そこで、ディーゼル発電を導入した場合と比較して、風力発電・太陽光発電導入が環境保全面からみてどのような効果があるのかを考察しておこう。

まず、風力発電・太陽光発電を導入した内蒙古の13.6万戸の牧民家庭で、発電される電力を推算する。現在、まだ太陽光発電の導入量は少ないので、1戸当たりの設備容量が平均300Wの小型風力発電機のみが導入されているとして、風力機の平均利用率を25%とした場合、年間総発電量は8,935万kWh（1戸当たり657kWh）となる。すべてディーゼル発電で電化を行った場合、これだけの発電に必要な燃料量は、発熱量を10kcal/g、発電効率を25%とすると、3万5,740トンとなる。

これをもとに環境中に放出される二酸化炭素や大気汚染物質を推算してみよう。燃料中の炭素含有率を85%、硫黄含有率を1.5%とすると、燃焼によって発生する二酸化炭素は11万1,400万トン（炭素換算で3万380トン）、亜硫酸ガスは536トンとなる。これらに加えて窒素酸化物や排煙微粒子も排出される。仮に、内蒙古の送電線が届いていない牧民家庭45万戸すべてをディーゼル発電で電化した場合、二酸化炭素は炭素換算で10万560トン（CO<sub>2</sub>重量では36万8,700万トン）、亜硫酸ガスは1,774トン放出されることになる。

これらの排出物質が、直接、内蒙古の草原の地域環境や人間、生物に及ぼす影響はそれほど大きくないと思える。しかし、中国には未電化人口が6,000万人もあり、家庭数にして1,200万戸としても内蒙古の未電化家庭数の約27倍にもなる。これまで内蒙古でもみられてきたが、

年々電力消費量や発電量が増加していく傾向にある。1995年の中国の総発電量は1兆77億kWhで、産業用の6,915億kWhを除いた3,162億kWhが家庭用とすると、一人当たりの年間平均電力消費量は約261kWhであり、1戸当たりでは内蒙古の牧民家庭を上回っており、将来的には、さらに増加する可能性が高いことから、化石燃料に依存する電化を推進した場合には、それだけでも二酸化炭素排出量は、炭素換算で数百万トン以上の膨大な量となる。

また、世界の未電化人口比率は非常に高く、そのような人々に化石燃料を使用する電力供給方式を採用した場合、地球環境に大きな影響をもたらすことになる。インドでは電化率が40%<sup>9)</sup>、インドネシアで31%（1993年）、フィリピン52%（1994年）、マレーシアのサラワク州62%、サバ州8%（1994年）、ベトナム約50%、南アフリカ62.2%（1999年）、ブラジル93%（1998年）など、多くの発展途上国では50%前後であることから、世界的には20億人、あるいはそれ以上の未電化人口があると推定される。このような膨大な人口の大半は農村地域に住んでいると考えられ、内蒙古自治区の牧民並みの電力をディーゼル発電で供給した場合の二酸化炭素排出量は、炭素換算で3,000万トンから4,500万トン、あるいはそれ以上も放出されることになる。その後も電力消費量は増加し続けることになるであろうから、温暖化を促進する原因となることはあきらかである。また、大気汚染や酸性雨などの酸性降下物による環境悪化をももたらすことは確実である。

したがって、内蒙古自治区における風力発電や太陽光発電による電化政策は、そのような環境悪化を防止するための実証的モデルとして注目すべきものである。ただし、今後、風力発電

機やバッテリーなどの老朽化や故障などで使用不能になった場合や、より大きな出力の発電機への買い替えも増加していくことが考えられるが、廃棄される機器の処理処分については、現在のところ、まったく検討されていない点が気掛かりである。内蒙古の草原は広大なので、無計画に埋め立てや廃棄されるおそれがある。とくに、バッテリーなどのように鉛などの有害物質を含むものについては、いまから十分に対策を用意し、廃棄処理面でも環境保全モデルとなることを望みたい。

## 7. 自然エネルギー電化推進の意義と課題

小型風力発電や太陽光発電による電化を推進している現地調査を行った錫林郭勒草原は見渡す限り地平線が続く広大な草原であった。このような草原で昔ながらの放牧による牧畜を営む生活に電化が与える影響は、想像以上に大きいものがあることを認識できた。送配電網が届かない条件下で、内蒙古自治区政府がとっている風力発電等の再生可能エネルギーによる電化政策は、大きな成果を挙げていることも実感できた。その意義は、このような方法でない従来型の化石資源等の再生不能エネルギーに依存する電化政策をとった場合に予測される影響と比較すれば、明確に理解することができる。本調査を通じて得られた自然エネルギー電化推進の影響、その意義と課題について以下にまとめておく。

### (1) 牧民の生活向上と意識変化

電化製品（電灯、テレビ、ラジオ、冷蔵庫など）の利用により、夜間の有効利用、娯楽、情報収集、学習、肉の長期保存などが可能となり、

外界に対する関心、社会的意識の芽生えや向上がみられ、子弟の教育への関心が高まるなどの変化も起きている。また、地下水の汲み上げが可能になり、以前に比べて水利用面で大きな進歩があった。ただ、老人たちにはテレビの導入により若者が労働しなくなるという懸念を抱く人もいると言われており、テレビ番組の商業化が進行していった場合にいかなる変化があらわれるか、注目しておく必要がある。

### (2) 生産活動への影響

夜間照明による家畜の出産での失敗による死産が減少している。注目すべきことは、この方法による電化推進は、従来の放牧生活を崩壊させ、牧業を衰退させるような変化をもたらしていないことである。居住地を変えることが制度的に困難であると言う中国特有の事情もあるが、再生可能エネルギーによる電化は、その地域に根ざしたエネルギー資源を使用するものであることから、むしろその地域のよさを改めて認識させることにつながっているように思える。

### (3) 地域社会の変化

牧民たちの意識変化により、地域間交流が以前より活発になり、人間関係もよくなったと言われる。ときどき巡回してくる旗政府の普及担当者たちがその面で果たしている役割も大きい。ただ、電話などの住民間の通信手段がまだ普及できておらず、緊急時の通信手段がまだない。今後はこの普及をどう言う形で推進するかが課題となるように思われた。

### (4) 関連産業への影響や経済的効果

小型風力発電機産業が大きく成長し、その普

及やメンテナンス活動に従事している人々まで含めると、地域に多くの新たな雇用を生み出し、経済的効果も大きい。また、このような産業発展により、小型風力発電機のような再生可能エネルギー生産機器の輸出も増加しており、他の発展途上国の未電化地域の電化を環境破壊を引き起こさない方法で推進する役割を果たすことになり、地球規模の環境保全にも大きく貢献することにつながる。

#### （５）行政との関係の変化

普及活動を通じて住民と地方行政との関係も以前より密になり、普及が進んでいる地方では、相互の信頼も向上しているようである。

ただ、中国ではテレビやラジオは政府サイドからの政治的方針を一方向的に流す媒体として機能しやすいものであり、そういう意味で行政側に好都合な状況が生まれていると思われる。今後、住民の意志を民主的に反映できる手段を発展させていくことが重要になってくるだろう。

#### （６）地域環境、地球環境への影響

上述のように、電化をディーゼルなどの化石燃料を使用して実現した場合と比較すると、大気汚染物質やCO<sub>2</sub>の排出などによる地域と地球の環境汚染・破壊や資源枯渇の抑制に大きく貢献できている。今後は、寿命や故障で使用不能になった機器類の材料の循環再利用や有害物質の排出防止に十分に対策を用意しておく必要がある。

#### （７）普及方法における課題

内蒙古自治区がとった助成制度は、再生可能エネルギー電化の推進に明らかに有効な手段であることが判明した。ただ、装置の買い取りが

基本であり、まだ風力発電機等の価格も彼らの収入と比較するとかなり高いものであるために、どうしても富裕層から普及が進んでいく傾向がある。貧困層にも入手しやすくなるような制度や方法を検討し、取り入れていくことが望まれる。

### おわりに

内蒙古自治区における未電化地域での小型風力発電機や太陽光発電装置の住民所有による電化政策は、世界中の送配電網が整備されていない未電化地域の電化を推進していくための非常に優れたモデルといえる。自治区政府の普及政策の下で、普及推進体制の整備や助成制度の制定をはじめ、研究開発、生産、メンテナンス等を独自に発展させることにより、住民の生活・意識向上、地球と地域の環境保全、地域の経済発展と雇用の創出などに大きく貢献してきた。さらに、これらの製品を輸出することで、途上国の過疎地域の環境保全的なエネルギー発展にも貢献している。

市場経済への移行下で中国国内の他地域からは風力発電機などの住民所有に対する「内蒙古の助成制度は地域保護主義である」との批判があるが、この批判は正しくない。デンマークやドイツなどの環境保全に先進的な諸国でも、風力発電機などの再生可能エネルギー生産手段の住民所有による普及が進んでいるが、その方向へのインセンティブを与える制度の導入が行われている<sup>10), 11), 12), 13)</sup>。とくに発展途上国の過疎地域においては、従来の大型火力発電所や原子力発電に依存しなくても、それぞれ地域に賦存する再生可能エネルギーを住民所有により活用する方法こそ、最も環境保全的かつ民主的で持

続可能なエネルギー利用形態であり、再生可能エネルギーの普及促進に有効であることが本研究で実証できた。

### 注および文献

- 1) 和田武「中国・内蒙古自治区における再生可能エネルギー その導入状況と今後の利用可能性」立命館大学産業社会論集，第36巻，第3号（2000.11）
- 2) 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）
- 3) 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，第3号（太陽エネルギー学会，2000）
- 4) 内蒙古自治区科学技術誌編纂委員会編『内蒙古自治区科学技術誌』内蒙古人民出版社，1997，
- 5) 内蒙古自治区新能源領導小組弁公室編『小型風力発電機と太陽電池使用与易修』内蒙古人民出版社，1992，
- 6) 牧民に家畜の頭数を訪ねても，正確な頭数を教えてくれた例がなかった。内蒙古の牧民たちには家畜を数えると言う習慣がなく，群れとして捉えているだけで，それをよいことと考えている（劉建新氏談）とのことである。
- 7) 牧民が所有する家畜や土地は，1982年に政府の方針で分配された。まず，家畜は当時の牧民家庭の家族数に応じて分配され，次いで年末に草原の土地を牧民家庭の家畜数と家族数を基礎に分配された。
- 8) 内蒙古の牧民はすべて蒙古族で，日常語は蒙古語である。
- 9) 伊藤正二「インド，ケーララ文化の世界」アジアセンターニュース No. 2（国際交流基金，1996）
- 10) 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（水曜社，1997）
- 11) 和田武『新・地球環境論』（創元社，1997）
- 12) 林智，矢野直，青山政利，和田武『地球温暖化を防止するエネルギー戦略』（実教出版，1997）
- 13) 日本科学者会議：公害環境問題研究委員会『地球温暖化防止とエネルギーの課題』（水曜社，1997）

## Electrification of Stock Farmers' Houses by Introducing Small Wind Turbines and/or Photovoltaic Systems in Inner-Mongolia of China

Takeshi WADA \*

Abstract: There are 450,000 houses of stock farmers, which have not yet been connected to the electric grid in the vast grasslands of Inner-Mongolia in China. In this paper the social effects and environmental impact of the electrification of these houses by using renewable energy sources as independent power generators were discussed on the basis of history and the present circumstances. In 1980 the local government of Inner-Mongolia adopted a peculiar electrification policy, introducing small wind turbines to the farmers' houses. At first, 100W wind turbines were introduced via a dweller's ownership system supported by governmental subsidies and adopted in 1986. Lately, 300W wind turbines have been introduced. Sometimes small photovoltaic systems of 100-300W have been used together with or independently of wind turbines. As a result, 136,000 houses had been electrified by the end of 1999. The electrification has improved their living and working conditions remarkably. Moreover, the local economy has grown. For example, manufacturers producing small wind turbines and photovoltaic systems have developed and the number of employees has increased rapidly. In addition, the environmental preservation effect of this policy was remarkable. Introducing these renewable energies is estimated to have limited the emission of carbon dioxide and various air pollutants from alternative diesel power generators. This Inner-Mongolian system is considered one of the best electrification systems in the world that has been applied to a wide unelectrified area without environmental destruction.

Keywords: Electrification, small wind power, photovoltaic, renewable energy, Inner-Mongolia, China, dweller's ownership system, sustainable energy use

---

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