論文

国際協力による砂漠化地域における森林造成についての研究 —中国寧夏回族自治区における日中協力砂漠化地域森林造成の軌跡と評価—

金 普 春¹・小 澤 普 照^{2,*}・黄 勝 澤²

金 普春・小澤普照・黄 勝澤：国際協力による砂漠化地域における森林造成についての研究，森林計画学会誌43：23～37，2010

今や砂漠化は世界各地で進行し，地球上全陸地の約4分の1，世界人口のほぼ6分の1が砂漠化の影響を受けているとされる。砂漠化地域における森林の造成，緑化の推進は喫緊の課題である。一方，中国は世界有数の砂漠国である。広大な砂漠が森林の拡充にとって障害となるばかりでなく，黄砂の発生源にもなるため環境の維持に悪影響を及ぼしている。この状況を打開するため，1989年，寧夏地域で日中協力による砂漠緑化のための実験プロジェクトがスタートした。本稿では，森林復旧指針策定調査に始まり，アグロフォレストリー技術の適用，ポプラ造林地の虫害対策などを経て，2004年大規模植林プロジェクト（無償植林）が終了するまでの長期間にわたって寧夏地域で展開された一連のプロセスについて，分析と評価を行った。砂漠に圧迫され続けたこれまでの状況から脱し，砂漠を押し返し緑を拡大することが可能であるとの自信と希望を人々に与えた事実が密接な国際連携によってもたらされたことを重視すべきである。

Jin Puchun, Fusho Ozawa, Huang Shengze : **A study of afforestation in desertified areas with international cooperation. 43 : 23 ~ 37, 2010** Desertification is occurring throughout the world. One fourth of the land on earth and one sixth of the world population are influenced by desertification. The promotion of afforestation which brings about greening of desertified areas is, therefore, an urgent task. China has vast areas of deserts in the country and a country which is severely affected by desertification. The deserts and desertified areas in China are blocking factors for expanding the country's forest area and they are major origins of "Dust & Sandstorm"; they are giving negative effects on the country's environmental conservation. In 1989, in Ning-xia Province a desertified area greening project was launched under the cooperation between Japan and China. This project consisted of several sub-projects which were the investigation of forest restoration, application of agro-forestry, and preventive measures against insect damages. This project led to a large scale afforestation by Japanese grant aid, which was completed successfully in 2004. As a result, people are confident that they can push back desert. This article has analyzed the long-lasting project and showed that close cooperation between the two countries has brought successful results.

I 研究の背景と目的

I-1 研究の背景—地球及び中国の砂漠化

現在，世界の国の多くは，砂漠の存在及び砂漠化の進行に悩まれ，砂漠問題の解決に腐心している状況にある。砂漠化防止条約は既に，1974年開催の「国連砂漠化会議」において，砂漠化防止行動が採択され，その後1992年開催の国連環境開発会議において採択された「アジェンダ21」の勧告に従って見直され，1996年に発効した。

それは，アフリカなどの途上地域における砂漠化

は，特に地域住民の生活に与える影響が大きいため，国際的な連携及び協調により，砂漠化の深刻な影響を受けている国々の砂漠化を防止し，旱魃の影響を緩和することを目的として策定された。そのため，砂漠化の影響を受けている国が砂漠化防止行動計画を作成すること，先進国がこれに対して支援することが義務付けられている。

今や砂漠化は世界各地で進行しており，国連環境計画（UNEP）の砂漠化の現状等に関する調査に基づいて作成された環境省資料によれば，砂漠化の影響を受けている土地の面積は，地球上の全陸地の約4分の

1 中国国家林業局国際協力センター International Forestry Cooperation Center, State Forestry Administration, P. R. China, Beijing
2 海外林業コンサルタント協会 Japan Overseas Forestry Consultants Association, Tokyo 113-0033.

1, 約36億 haに達し, 世界人口のほぼ6分の1, 約9億人がその影響を受けているとされる(11)。この状況を改善するため, 砂漠化地域における森林の造成, 緑化の推進は緊急の課題である。

本論文の対象地域としている中国は世界有数の砂漠及び砂漠化土地を有する国である。日本の26倍の国土に砂漠化土地面積が国土全体の27.46%を占め, 263.62万km²に達している。うち, 純粋砂漠土地面積は173.97万km²で, 国土面積の18.12%を占めている。

中国政府は砂漠化防止のための植林作業を進めており, 大きな効果を得ているものの, 黄河上中流, 甘肅省の石羊河下流を中心とする河西回廊地帯, タクラマカン砂漠周辺など局部での砂漠化が依然として進行中である。広大な砂漠は, 森林面積の拡大にとっても大きな障害となっているばかりでなく, 黄砂の発生源にもなるため良好な環境の維持にも悪影響を及ぼしている。この状況を打開するため, 日中両国の協力により, 寧夏での砂漠緑化^{*1}のための実験プロジェクトが1989年にスタートした。

I-2 研究の目的

本研究では, 中国の砂漠化地域における森林造成, ひいては地球環境の持続に資するため, 日中2国間の協力により, 成功をおさめた中国寧夏回族自治区の地域における砂漠緑化の事例を研究対象に選び, その経過, 実行内容, さらに今後の課題及び対応について, 分析を加えるとともに多面的な評価を行うことを目的としている。

II 研究の方法

寧夏回族自治区の砂漠化地域における森林造成への取り組みは, 日中両国協力による実験プロジェクト開始以降の期間に限ってみても, 既に約20年の長期にわたっている。したがって, 関係資料及び報告等も多いところであるが, 本研究では主として下記の報告書及び論文を資料として用いた。

①海外林業コンサルタンツ協会(1990) 砂漠化地域森林復旧技術指針策定調査事業中国基礎調査報告書・社団法人海外林業コンサルタンツ協会。

②海外林業コンサルタンツ協会(1993) 砂漠化地域森林復旧技術指針策定調査事業中国寧夏回族自治区塩池県(毛烏素沙漠)総括報告書 社団法人海外林業コンサルタンツ協会。

③海外林業コンサルタンツ協会(1996) 砂漠化地域森林復旧技術指針策定調査事業総括報告書(中国寧夏回族自治区靈武県編) 社団法人海外林業コンサルタンツ協会。

④海外林業コンサルタンツ協会(1999) 中国砂漠化地域におけるモデル林造成のあゆみ。社団法人海外林業コンサルタンツ協会。

⑤国際協力事業団(2001) 黄河中流域保全林造成計画基本設計調査報告書 社団法人海外林業コンサルタンツ協会・財団法人林業土木コンサルタンツ(共同企業体)。

⑥海外林業コンサルタンツ協会(2008) 砂漠化を防ぎ黄砂の発生を抑える植林技術。社団法人海外林業コンサルタンツ協会。

⑦孫 長春(2004) 中国における持続可能な森林経営に関する研究。

また, 分析手法としては, 上記資料について, 砂漠化地域における森林造成プロジェクトの実行が, 小規模実証プロジェクト, 大規模無償植林プロジェクトなどに分かれていること, さらにプロジェクト実行現地も靈武市(当時靈武県), 塩池県など複数存在することから, プロジェクト別, 実行箇所別に資料解析を行うと同時に現地での状況確認を行い, さらに今後の課題として追究していく必要がある諸事項については, 関係者から聞き取りを行い整理を行ったものである。

聞き取りについては, 全体的な事項については, 銀川市所在の寧夏回族自治区林業局において, また現地については, 各現地の林場等において, 関係者から実施した。

評価については, 今後における大量の砂漠化地域の緑化が円滑に進められることに資するため, 政策的観点及び技術的観点から, 整理を行い, さらに国際協力実施上の観点からの検討を行った。

III 砂漠化地域の概況と緑化のための各種プロジェクトの経過及び関連研究業績の検討

III-1 中国における砂漠化の進行

III-1-i 中国の砂漠の概況

中国における砂漠の研究に関しては, 最も総括的なものとして, 「中国沙漠概論」(18)及び「沙漠学概論」(23)がある。

この中では, 中国の乾燥・半乾燥地を戈壁(戈壁)と砂状地に分け, 砂状地をさらにステップ地帯における砂堆積(砂地)と乾燥地帯における砂堆積(砂漠)に分けている。つまり, 端的に言えば, 中国では砂漠を「戈壁」, 「沙地」, 「沙漠」の三つの名前で分けている。また, 砂漠化の「砂」の字が「沙」となっている。中国語では砂漠の古くからの意味は, “草木が生えてない水の少ない広野を指す”ものであった。要するに砂漠とは草木が生育できないほど水が不足していることに尽きるとも理解できる。また「沙漠」を“風に吹かれて水のごとく波打つ砂地の広がり模様”と言

い表すこともあった。いずれも砂漠を本質的に、または外観的にわかりやすく表現すべく「沙」の字を当てたといえる。「戈壁」はすなわち礫砂漠であり、碎石がまだ風化して砂になっていないか、風によって地表の砂が運び去られ粗大な岩屑等が残った荒地地である。ちなみに、岩屑と砂が混ざり合っているところは「戈壁沙漠」という。「沙漠」は乾燥気候帯に広がる大面積な流動性砂丘に覆われている砂の堆積地を指す。一般的に形成の歴史は古く、主に自然現象に由来する。ゆえに「原生砂漠」ともいう。「沙地」は乾燥気候帯のみならず、半乾燥もしくは半湿潤気候帯でも砂質土が地表に広がっている現象を指す。すなわち、気候的地域性に拘らず、砂丘地でも、平坦な砂地でも一旦砂質砂漠化している土地を古来の原生砂漠と区別して「砂地」と表現する。ゆえに、砂地は草原地帯に固定、半固定砂丘をなして分布しているものが主である。

さて、中国では全土の主な砂漠を「8大砂漠」と「4大砂地」に分けている。詳細は表－1のとおりである。その分布は、主として中国北西部及び北部に存在するほか、一部東北部にも分布し（図－1）、砂状地と砂礫地では、砂状地が56%を占める。最大規模の砂漠は、タクラマカン砂漠で、面積32万7千km²で、新疆ウイグル自治区に所在する。また本稿で対象とするモウス砂漠（中国では「毛烏素砂地」）は、黄河中流域の寧夏回族自治区（図－1の赤色部分）と陝西省及び内モンゴルに所在するもので、かつては草原であったとされる。表－1に示される砂漠（砂地）は、「純粋な不毛砂地」を指すものと理解できる。すなわち「砂漠化」したものやゴビも除いた純粋な原生ないし新生（二次）砂堆積地ということである。

図－1 中国主要砂漠の地理分布

（出典：中国砂漠化地域モデル林造成 JOFCA 1999年）

表－1 中国主な砂漠の分布

砂漠名称	地 理 位 置	標高 (m)	面積 (万km ²)
① タクラマカン (Taklimakan) 塔克拉玛沙漠	新疆タリム盆地	840～1200	33.76
② グルバントングド (Gurbantunggut) 庫爾班通古特沙漠	新疆ジュンガル盆地	300～600	4.88
③ クムタグ (Kumtag) 庫母塔格沙漠	新疆東部、甘肅西部	1000～1200	2.28
④ ツァイダム (Qaidam) 柴達木盆地沙漠	青海省ツァイダム盆地	2600～3400	3.49
⑤ バダゲンチリン (Badain Jaran) 巴丹吉林沙漠	内モンゴルのアルシャ高原西部	1300～1800	4.43
⑥ テンゲル (Tengger) 騰格里沙漠	内モンゴルのアルシャ高原東南部	1400～1600	4.27
⑦ ウランブフオ (Ulan Buh) 烏蘭布和沙漠	内モンゴルのアルシャ高原東北部より東へ黄河まで	1000	0.99
⑧ クブチイ (Hobq) 庫布齊沙漠	内モンゴルのオルドス高原北部より南へ黄河平原まで	1000～1200	1.61
⑨ モウス (Mau Us) 毛烏素砂地	内モンゴルのオルドス高原中南部、陝西省西北部	100～300	4.23
⑩ フウンシャンダグ (Onqin Daga) 渾善達克砂地	内モンゴルの東部の錫林南部、昭烏達盟西北部	1200	2.14
⑪ コルチン (Horqin) 科爾沁砂地	東北平原西部の西の遼河下流	1300～1600	3.21
⑫ フルンバイル (Hulun Buir) 呼倫貝爾砂地	内モンゴルの東北部、大興安嶺西部	600	0.72

出典：＜中国土地利用＞ 呉伝鈞 等 1994年

ここでまず中国における砂漠・砂漠化に関する用語について簡単に整理する。1992年の地球サミットを契機に、中国でも環境問題のトップ課題として砂漠化の議論が盛んになり、1995年から従来の“砂漠化”の表現を「荒漠化」に統一した。“荒漠化”を端的言えば、いわゆるすべての砂漠と、その他の劣化土地ないし地質的・気候的にもとより植生の生育が極めて困難な土地をあわせて「荒漠」と称する。したがって、荒漠には、砂質砂漠（純粋な砂漠）、礫漠（ゴビ）、岩漠（岩石露出地）、泥漠（黄土高原のような粘土の不毛地）、塩漠、極地漠（南極などの氷雪地）等がある。中国における土地荒漠化の起因は主に、①土壌の風食による砂質化、②水土流出、③土壌の塩類集積、④永久凍土の溶解の4つの現象からなる。しかし、荒漠化土地のうち、文字通りの砂漠および砂漠化（砂化）土地が大多数をしめる。また、日本の一部の研究者は中国砂漠に関する記述で、荒漠と砂漠と区別すべく、荒漠を「砂漠」と表する場合、砂質砂漠を「砂砂漠」と表す例もある。

1994年、中国政府は第1回目の全国の砂漠、ゴビ砂漠、砂漠化土地の全面調査を行った。457万km²の実地調査の結果、中国の荒漠化土地面積は262.2万km²で、国土面積の27.3%を占めていた。うち、風食等による荒漠化土地面積は182.1万km²（うち、風食による砂質荒漠化面積160.7万km²、その他土壌理化変化や生物特性等の原因による荒漠化面積21.4万km²）と最も多く、このほか、水蝕（水土流出）による荒漠化面積は20.5万km²、土壌塩類集積による荒漠化面積は23.3万km²、凍土融解による荒漠化（沼地化）面積は36.3万km²がある。

その後、1999年にリモート・センシング手法を用い

て第2回目の調査を実施した。調査手法の違いにより、統計項目と方法は若干異なるところもあるが、第1回目と比較できる範疇の結果をみると、荒漠化土地面積が267.4万 km²で（国土面積の27.9%）、5年間でその面積は5.2万 km²増加した。2回の調査はその手法の違いで、正確な比較はできないが、荒漠化土地の面積の広大さとその荒漠化土地が20世紀末時点で拡大傾向にあることはまぎれなく証明されている。

砂漠、ゴビ砂漠、風食による砂質砂漠化土地（これらをいまは砂化土地といい）は、1994年の調査で168.9万 km²に達していた。これは国土面積の17.6%にあたる。また、1999年の調査で、この砂質砂漠化土地が5年間で171.8万 km²増加したことが明らかになった。

近年の最新調査では、これまでの植林緑化が功を奏し、中国全土における砂漠化土地の拡散は沈静化傾向にある。全体的にみると、毎年砂漠化していく土地面積と砂漠化土地を再び緑化等を通じて利用可能な土地に整備した面積はほぼ等しいと中国国家林業局が発表している。言い換えれば、トータル的に砂漠化土地の増加は抑制された。この背景には食生活の変化による農業生産構造や生産方式の変化が土地利用における負荷を軽減したことも一因にあると考えられた。

Ⅲ-1-ii 中国北部における砂漠の成因

本稿が対象としている砂漠地域（砂漠及び砂漠化地域を含む）は、毛烏素砂漠の南西端にある。この地域はオルドス台地に属し、中国では最も古い大陸地殻の一部とされている。まだアジア大陸すら形成されていない25億年もの昔、始生代に始まるといわれる。古生代（2億年前）に至り古ユーラシア大陸が形成されたが、現ユーラシア大陸とは異なり、オルドス台地はまだ海中か平地で気候的には海洋性、湿潤温暖で、中生代大量の土砂を堆積し、その後厚い砂岩の層となったと考えられている。新生代に入って現在のユーラシア大陸が形成されるが、中国西部の気候は、海洋性から大陸性になり、ヒマラヤ山脈等の隆起により、さらに乾燥化が進行したが、地質的に剛性が強く平坦な地形をそのまま維持したことから大量の砂をそのまま維持蓄積して推移した。その後、第4紀の温暖湿潤気候と冷涼乾燥の気候変動は砂漠の生成を助長する要素があったものとされている。なお、歴史時代における遺跡や歴史資料に基づく研究によれば、現陝西省靖辺県白城子の統万城遺跡は5世紀の初めにおいて大夏の首都として城壁を築いたとされているが、当時は「広沢に臨み、清流を帯びる」状況であったものが、9世紀には、飛砂堆をなす状況となり10世紀に廃城となったときには既に砂漠に埋もれていたという。陝西省から

寧夏にかけて、明の時代に建設された長城も清朝末期から多くは流動砂丘に没しているといわれ、歴史時代においても砂漠化は進行したことが推測される。さらに現代においても砂漠化は進行しているが、気候的な因子とともに人為的な理由が指摘されている。なお、中国では、現代の砂漠化といえば最近の50年を指している（3）。

Ⅲ-1-iii 中国における砂漠化防止の取り組み

降雨量が少ない中国の北部地域は、旱魃、風害が多発するなど、常に自然災害の脅威にさらされ、さらに砂漠化の進行により、農業や工業などの産業の立ち後れが目立ち、対応措置として、中国国務院は、1978年に、いわゆる「三北防護林建設」プロジェクトを発足させた。三北とは、中国東北、華北、西北の三地方を指す。このプロジェクトは図-1に示したとおり、中国のほぼ北半分（全国陸地面積の42.4%）を対象地としている。東西の距離は4,480km、南北の距離は560～1,460kmで、その面積は406.9万 km²。13の省（新疆・甘粛・青海・寧夏・陝西・山西・内蒙古・河北・北京・天津・遼寧・吉林・黒竜江）の590県がこの事業に取りかかっている。プロジェクトの実施期間は2050年までの73年間で、完成目標は、人工造林2,637.1万 ha、空中播種造林111.4万 ha、封山（砂地）育林759.8万 ha。住宅地、道路沿いなど緑化植樹52.4億本。これらの植林と植樹によって、事業エリア内の森林率を事業前の5.05%から14.90%まで引き上げる。中国における森林政策の変化については、孫長春（21）によれば、中国建国（1949年）後から1980年代まで、中国における森林経営は、基本的に木材利用に傾いたもので、当時の社会が専ら経済発展を目指していたことから、林業に対する要請も専ら木材生産であった。また、一方、国全体として「食を基本とする」政策がとられていたことから、焼き畑、林地の農地への転換も盛んに行われ、林地は単なる経済資源として扱われた。

「改革開放」路線以降、経済発展と生活水準の向上がみられるとともに、中国政府は、林業の発展を産業面と公益面の両面から捉えることになり、「三北防護林建設」プロジェクトに加え、長江流域など大河川流域の防護林造成、平原緑化などの環境面に重点をおいた政策を実施するようになった。かくして、森林の生態系の強化と産業としての林業の2つ目の目標を設定し、人工林の拡大を行う一方、開墾については厳しく制限するなど、向社会的な政策を推進する方向性を打ち出したが、当時の社会経済的環境は、木材生産を中心とする状況を変換して環境政策に力点を置く状況には至らなかった。中国政府が持続可能な森林経営を本

格的に目指すようになったのは、1992年の国連環境開発会議以後となる。いわゆる地球サミット後の中国政府策定の行動計画は、持続可能な発展戦略を効率的に実施することにより、経済・社会の全面的な発展を図り、同時に人口増加を抑制し、土地・水・森林・生物多様性などの自然資源の保護・管理を強化することであった。事実、生態・環境整備は急速に進み、中国における過剰人口、人口あたりの資源の脆弱性、生態環境の弱体などの実態を改善し、国家の長期かつ安定的な発展に大きく寄与するものであることを立証するものであった。21世紀に入り、中国が目指した小康社会は都市部では実現しつつあったが、これまでの悪化した生態環境が経済及び社会の持続可能な発展を制約する要因になっていることの認識から、社会の生態環境への認識が急速に高まり、林業についても同様の観点から、「(林業は)経済と社会の持続可能な発展の重要な基礎であり、生態建設の根本であり、最も長期的な措置である。持続可能な発展の過程で、林業を重要な位置に置かなければならない」としている。このような一連の流れの中で、三北及び長江流域等重点防護林体系建设プロジェクトは、他の五大プロジェクト、すなわち退耕還林プロジェクト、天然林資源保護プロジェクト、北京・天津風砂源整備プロジェクト、重点地域早生多収獲用材林基地建設プロジェクト、野生動物植物保護及び自然保護区建設プロジェクトと併せ、六大林業重点事業として推進された。これらは、リオサミットにおける「アジェンダ21」の中国版(林業・環境)といえる。ところで、1978年以来、中国政府が力点を置いてきた荒漠化防止政策は、具体的には、三北防護林建設事業として推進され、2006年まで、この事業で2,956万 ha の植樹・植林及び森林育成が行われた(1)。

Ⅲ-1-iv 寧夏回族自治区における砂漠植林

寧夏回族自治区は、中国全土に対しては、0.54%を占めるに過ぎない。地理的に中国の東部(沿岸)モンスーン気候地域、西北乾燥地域と西南青海・チベット高原寒冷地域の3大自然地理気候区域の交わるところにあり、西、北、東の3面が砂漠で囲まれている。(図-1) ゆえに砂漠緑化に関していえば、正に先駆的かつ実験的なモデル地区として位置づけることができる。孫(22)によれば、寧夏回族自治区は生態環境建設政策の実証体として捉えて検証するに最も適している。すなわち、実証プロジェクト開始時期を1978年の寧夏回族自治区全域が三北防護林建設事業の範囲に組み込まれたときとするのが妥当である。実際、三北防護林建設管理局(中国国家林業局直轄機関)は寧夏回族自治区に設置されている。

Ⅲ-1-v 寧夏回族自治区における砂漠化状況

寧夏回族自治区は北京から西へおおよそ1,000kmの内陸にあり、土地面積は518万 ha。2004年末の人口は587.7万人で、農村人口は349.1万人と約6割を占める。首府の銀川市の北緯は仙台市とほぼ同じである。寧夏回族自治区は華北の乾燥台地から祈連山東端の褶曲帯への移行中間帯と、黄土高原と内モンゴルのオルドス砂地高原の過渡帯をまたがって位置している。山地と台地もあるが、丘陵地形と平原が最も多い。また、この丘陵地帯と平原地帯の年間降雨量はほとんど300mm以下で、地質的にも気候的にも砂漠化の潜在要素を多く有する。

実際、図-1にみられるように、寧夏回族自治区の西、北、東3面に騰格里砂漠、烏蘭布和(ウランブフオ)砂漠、毛烏素(モウス)砂漠が鎮座している。うち、寧夏回族自治区内に広がる砂漠面積は騰格里砂漠が12.4万 ha、毛烏素砂漠が84.6万 ha、黄河東岸や中南部丘陵地帯の砂地が16.3万 haで、その他の散在する砂地を合わせると、砂漠及び砂漠化土地面積は126万 haにのぼる。

寧夏回族自治区内には黄河が流れており、その河道の延長は397キロメートルに及ぶ。賀蘭山南端から境内に流入し、東の山麓を北上する黄河が銀川平原を成し、また幾度なく河道を変えた結果、湖や沼地を多く作り出した。その豊富な地表水資源が秦の時代から利用され、一帯は「塞上の江南(辺境荒涼の地にある魚米豊かな郷)」と呼ばれるほどの農業地になっていた。西夏王国がこの地に国を構えたのもうなずける。いまでも、「秦渠」、「漢渠」、「唐渠」などと呼ばれているそれらの時代に作られた水路は幾らかが残っていて、使用されている。

しかし、この地での2千年余の文明の歴史は、一方では土地開拓の歴史でもあった。樹木がなくなり、草地は減り、人口と畑と家畜だけが増え続け、やがて元々自然条件的に植生再生能力に乏しい土地が人類からの過度な負荷に耐えず、多くは不毛の地と化した。同時に土砂の流出量も多く、1958年以来、自治区内で239のダムが建設されたが、大部分のダムは泥砂が堆積し、ダムの容量は50%程度に減少し、機能の大幅な低下を余儀なくされた。したがって、人及び家畜の飲用水の不足、さらに灌漑用水の不足から灌漑面積も半分以上減少するなど深刻な事態が発生している。また、1982年から1999年までに寧夏回族自治区で、春期に砂嵐が27回発生しているが、特に激しかったものは5回で、1993年5月5日発生 of 砂嵐では、家畜が2万頭以上死亡または行方不明になったとされている。さらに、最近、砂嵐の発生回数は増加しており、2000

年、2002年にはそれぞれ10回を超える発生があったとされる。

Ⅲ-1-vi 砂漠化の原因分析

寧夏回族自治区の砂漠化の進行要因としては2つの因子が指摘されている。1つは、乾燥と降水量不足という自然要因である。ここ30年間の降水量の減少が指摘される。寧夏回族自治区の塩池県では、最高392mmの降水量の観測があるが、200mm以下の降水量が30年間で5回出現し、少雨化の傾向がみられるとのことである。また、平均気温は上昇傾向も認められるという。もう1つは、人為的要因である。すなわち寧夏回族自治区の人口は2000年時点では、建国初期に比較して3.9倍に増加した。このことにより、耕地面積を増加させるため、過度の開墾が行われた。しかも降雨量の多い年に草地や傾斜地で開墾と耕作が行われ、旱害年には耕作を止めるため、これを繰り返すことで荒廃地が増加する。このほか過放牧の問題がある。主として羊の放牧であるが、適正頭数の2倍以上の放牧が行われてきたとみられている。さらに、生活燃料用に供するため、天然灌木草を伐採・採取することで砂漠化面積が拡大した。このほか、カンゾウ（甘草属=*Glycyrrhiza*）、マオウ（麻黄属=*Ephedra*）などの有用植物の略奪的採取が行われたことも無視できない。1978年から1992年にかけて、カンゾウの採取は年平均7,000トンに達し、これにともない毎年1万ha以上の草地が破壊されたといわれる。

Ⅲ-2 砂漠化防止対策の諸施策の整理

Ⅲ-2-i 砂漠化防止対策の樹立と着手

寧夏回族自治区における砂漠化の状況から、砂漠化防止対策は最重要課題として認識され、方向性の検討が行われた。その結果、植林による緑地面積の拡大が最有力な手法であるとの認識が定着した。1950年代は砂漠化区域に国有林場（国営営林機関）が設立され、残存天然林木の保護育成と植樹造林が行われた。1960年代からは地方林場（郷や村が経営する営林体）が多く組織され、農地防風林、流砂固定林をあちらこちらに造成した。1970年代からは三北防護林事業を中心にプロジェクト方式の緑化が進められた。1990年代は砂漠化土地の総合整備が主流となり、農、林、畜産、水利などの関連部門の共同で砂漠化拡散の防止と砂漠化土地整備を行った。

Ⅲ-2-ii 技術的対策

1950年代から、科学技術者により治砂の技術的対策の方向と手法が研究された。「草方格沙障流砂固定工」技術等詳細については資料を参照されたい（12）。

Ⅲ-2-iii 戦略的対策としての国際的交流と協力の推進

寧夏回族自治区における砂漠化防止については、対外開放を拡大して、国際協力を進める方向が強化された。すなわち、国際プロジェクトとしては、国連食料農業機関（FAO）の支援プロジェクト、欧州共同体（EU）支援プロジェクトのほか、日本及びドイツとの協力プロジェクトが実行された。本稿では日本と中国（寧夏回族自治区）との砂漠化防止の技術協力の展開を主体に分析を行うこととする。

Ⅲ-2-iv 寧夏回族自治区砂漠化地域における国際協力プロジェクト

寧夏回族自治区における砂漠化防止を主目的とする国際協力プロジェクトは、1980年代から始まった。中国では、これを一括して、外援プロジェクトと呼んでいる。外国政府、国際機関、外国民間組織から無償の資金、資機材及び設備の提供と技術の提供が行われ、1980年代、1990年代にわたっての外援資金の総額は約2.2億元（約32.34億円）で、同期間中に寧夏回族自治区において中国の国内資金による林業投資額の5分の1を占めたという。なお、1989年以降の林業外援プロジェクトは、12件を数えた。日中協力プロジェクト以外では、ドイツの援助プロジェクトが比較的規模の大きなものとして認識される。すなわちドイツによる「賀蘭山東麓生態防護林建設プロジェクト」は、1996年から2002年まで実施され、総投資額は約6,000万元に達した。本プロジェクトにより、人工林造成8,936ha、封山育林30,000haが行われた。

Ⅲ-2-v 日本中国の協力による砂漠化防止プロジェクト

Ⅲ-2-v-a 「砂漠化地域森林復旧技術指針策定調査事業」プロジェクト

本プロジェクトは、まず1989年から1992年にかけて、寧夏回族自治区林業局が日本の林野庁の委託調査による海外コンサルタント組織（社団法人海外林業コンサルタント協会・JOFCA）と協力して、寧夏回族自治区塩池県で実施された。このプロジェクトは、砂丘地の局所の立地（水分条件）に合わせて、多種の草本、低木、高木を組み合わせて植栽し、3年の工事期間で50haの砂丘地への全面緑化に成功した。類似砂丘地における無灌漑混生林造成では画期的な成果を挙げた。後に、このプロジェクトで立証された技術は寧夏回族自治区のみならず、周辺の砂漠化地域でも普及され、多大な評価を受けていた。その成果を受けて、1993年から1995年にかけては靈武市において、継続し

て「アグロフォレストリー技術適用治砂モデル林造成事業」プロジェクトを実施した。本計画は、大砂丘地の正に中心となるところに60haをモデル事業地として区画し、ブルドーザーで水平に整地した上で、水田のごとく灌水路を廻らせた。四方には50m幅の防風林を造成し、中央は作業道で幾つかの生産ブロックに区切り、果樹、牧草、薬草などを栽培し、その収益で労働者の生計を立て、林木を育成維持した。牧草など飼料生産による家畜飼養とその家畜による堆肥還元はこの砂地生産経営の重要な支柱であった。作業道の両側にも防風林帯を造成し、風砂影響を最小限に抑えた。また飛砂風向の風上側の砂丘地には10haの低木を播種して育成し、至近からの流砂の侵入を防いだ。単なる農地防風林はよくみられても、また一時的な木場作が随時あっても、砂丘地に森を作って、さらにその中で農畜生産を行うという風景はそれまで中国の乾燥地ではあまりみられなかった。この事業はスタートした翌年から、僅かながらも作物の収穫や家畜による収入を実現し、3、4年後から特産果樹、薬草、畜産などを融合した本格的な農畜経営が樹立され、十数年経った今も健全な運営がなされ、かつ砂丘奥地へ緑化開発を広げつつある。

1996年、寧夏回族自治区政府関連機構による本事業成果評議鑑定会で、「このプロジェクトは極めて短期間で、半荒漠の流動砂丘地を生命力に満ちた人工オアシスに変えた。また、砂漠化地域のモデル林造成に当たって、林業を中心とし、農牧業を総合したエネルギー循環、物質再生、資金流通の新たな段階に発展させた」と評価され、複数の全国紙が取り上げるとともに、今なお国内外から多くの学者が訪れている（16）。

Ⅲ-2-v-b 日中技術協力「寧夏森林保護研究計画」プロジェクト

本プロジェクトは、1994年から2001年まで、寧夏回族自治区林業局と日本国際協力機構（JICA、当時国際協力事業団）が協力して実施したもので、それまで寧夏回族自治区地域に大量に植林されたポプラ（楊樹=Populus 属）にカミキリムシを主とした虫害が発生し、平地地帯では壊滅的な被害をもたらしたため、森林害虫の発生生態を解明し、防止技術の研究開発を行うことを目的としたものである。総投資額は約4,550万円に上った。

Ⅲ-2-v-c 「黄河中流域保全林整備計画」プロジェクト

本プロジェクト（JICA）は、2001年から2005年までの間に実行され、総額約1億円の対中国植林無償援助としては第1号の案件である。因みに日本政府によ

る無償植林は、その後、2番目のプロジェクトが、山西省において行われ、2006年度末をもって成功裏に終了している。寧夏回族自治区におけるこの無償植林の内容は、流動砂丘地に11種の樹種（高木3種と灌木8種）を用いて、基本的に無灌水（ただし、1カ所660haの植林地は植栽当年のみ2～3回の灌水があり）で4,200haの植林と、植林及び植林地育成のための林道作設61km、植林地保護金網フェンス104km、監視塔5基、管理小屋5棟、などである。このプロジェクトの造林は平均生存率84.5%という、同類立地条件では驚異的な結果が得られている。なお、本プロジェクトの技術仕様については、資料編を参照されたい（13）。

Ⅲ-2-v-d 日中緑化交流基金（小淵基金）

本基金は、1999年日本政府が100億円を拠出して設立された。爾来中国各地において民間団体交流による植林活動が展開され、次代を担う青少年の緑化活動を含め環境緑化の推進に大きく貢献しているものである。寧夏回族自治区においては、これまで4件の事業が展開され、うち、霊武市における流動砂丘地植林プロジェクトの日本側のカウンターパートはJOFCAが担当して実行された。6年間での延べ植林規模は300ha前後で、金額で5,000万円を基金から提供された。このプロジェクトでも10種以上の樹種を利用して、灌漑条件がある場所は高木を植え、そのほかの砂丘地は多種の低木を植えて、着実に流動砂丘地を固定し、林地に変えた。このプロジェクトは大衆参加の方式で実行され、植林そのものは大規模ではないが、青少年に対する森林教育や植樹造林の技術の普及についての評価は高いものであった。

Ⅲ-2-v-e 島根友好林プロジェクト

島根県と寧夏回族自治区の友好関係の一環として、1997年以降、総額250万元相当の友好植林活動が多数の島根県民の参加を得て持続的に行われている（19）。

Ⅲ-3 実証調査プロジェクトの主要事項

Ⅲ-3-i 樹種の選定と適応性

砂漠化地域の森林造成においては、適応樹種の選定が重要である。本論文で取り上げた、実証調査プロジェクトでは、樹種（低木及び草本を含む）の絞り込みに成功した意義は大きい。この経緯等詳細については資料編を参照されたい（14）。

Ⅲ-3-ii 砂障等植林関連技術

砂漠の状況に応じ、植栽を行う前に砂を固定して飛

砂を抑える必要が生じることが多い。この問題を解決するため草砂障が開発された。砂障には、以下に掲げる各種の方式がある。

平敷草障：全面に藁を敷き、ところどころに砂を盛って飛散を押さえる方法。

带状草障：主風に直角の方向に並行的に一定間隔で藁を半埋め状態で線状に引く方法。

円形草障：風向の変化が多い場所で円形に藁を引いて砂障とするもの。馬蹄形の変形方式もある。

格状草障：方格草障ともいい、網状に藁を引く方法。1つマス（四角形）の大きさは1m×1m, 1m×2m など各種の規格があるが、1m×1mの方式が最も多くみられる。

上記各種の砂障は、長期間の経験から現在では、格状草障（以下、方格砂障という）が最も定着している。

方格砂障の造成手順は、次のようになる（10）。

- ①1辺1mの方形が連続する格子模様の形状に造成する。
- ②最初の辺を風向に対して直角になる位置に定める。この辺を基準にして、1m間隔の平行線を引く。
- ③その平行線の位置に、深さ10cmの溝を掘る。
- ④その溝に、稲藁や麦藁を2つ折りして、垂直に立てるようにして差し込む。
- ⑤溝に、先に掘り出した砂を戻し、稲藁や麦藁を固定する。これで並行な砂障ができる。
- ⑥この砂障列の直角方向に、1m間隔の平行線を引き、③、④、⑤と同じ作業を行う。
- ⑦これらを繰り返すことによって、1辺1m、高さ10cm程度の方格砂障が完成する。

Ⅲ-3-iii 特用林産との組み合わせ

中国の砂漠化地域は内陸の奥地に位置しているうえ、自然状況の厳しさも加え、総じて産業の発展が立ち遅れている。したがって貧困が普遍的現象である。環境と貧困は往々にして対立する問題であって、両立を図る対策が実行し難い。しかし、環境対策のための植林に生産的な（収穫）要素を取り入れること自体は難しくなく、その林分の環境保全効果に大きな影響を及ぼすことはない。実際、経済的に豊かではない地域において、短期間で一定の直接経済利益が得られる保全林のほうがむしろ大事に扱われ、保全林の長期安定成長にはより有利である。したがって、森林造成を成功に導くためには特用林産との組み合わせが有効な方法である。寧夏の植物特産品としてのカンゾウとクコ（*Lycium sp.*）は最も名高い。そのほか、ナツメ（藁＝*Zizyphus jujube*）なども郷土種であり、造林との組み合わせが期待できる。霊武地域の砂漠造林では特産的樹木や果樹との混植も一部実行されており、既に高い効果を発揮している。なおカンゾウについては、従

来天然カンゾウが薬用植物として価値が高いために無秩序な採取があり、むしろ砂漠化を助長したとされているが、今後は樹下等の空間を利用して計画的に栽培・利用することで、地域経済の振興を図るべきである。

Ⅲ-4 関連研究業績の検討

Ⅲ-4-i 砂漠化防止植林についての中国側の評価

中国におけるプロジェクト評価方法として、「鑑定会」がある。「鑑定会」は専門家と行政機関の長によって構成され、鑑定委員により現地調査が行われ、報告資料の検討等が行われ、鑑定結果が出されることになる。寧夏回族自治区における、日中協力による砂漠化防止プロジェクトについては、2つの点について鑑定が行われた。

Ⅲ-4-ii 塩池県におけるプロジェクトについての評価

塩池県における、砂漠化防止植林は、地下水位が高いため、無灌漑方法によったことから、無灌漑地区におけるモデル林として評価が進められた。総括は次のとおりである（9）。

このプロジェクトは生物措置と工事措置を結合させ、自然の気象と各種の耐乾燥造林技術を総合的に活用して4カ年の実施期間中、実質3カ年でモデル林を造成し著しい成果を挙げた。

すなわち、

- 1) 速やかに流動砂丘の植生を回復し流砂を固定することによって、森林復旧技術の理論的根拠が作られた。
- 2) 植生の被覆率は74%となり、砂丘移動速度や砂移動量は大幅に低下し自然景観が改善され、砂漠化地域にオアシス化現象が生まれた。また、微気象にも影響をもたらし、年間の平均風速、蒸発量、夏の気温は低下し、冬の気温は上昇した。さらに、植物群落は遷移を始め、動物の種類も増加しつつあり、モデル林内の局部環境は明らかに改善された。
- 3) 生物の多様性を応用し、多くの樹草種の組み合わせにより単純植生の弊害を避け、生態的に安定を保つ基礎ができた。これらは、中国科学院のデータバンクの検索によると、今までにない成果であることが判明し、鑑定会の一致した評価は、このプロジェクトは、短時間で回復速度が速く、効果は著しく、理論も実践も価値があり、国際的レベルに達しているという結論に達したと評価している。

Ⅲ-4-iii 霊武市におけるプロジェクトについての評価

霊武市における砂漠緑化プロジェクト（「アグロフォレストリー技術適用治砂モデル林造成事業」）は、1989年から1992年にかけて、前述の塩池県で実行された砂漠緑化プロジェクト（「砂漠化地域森林復旧技術指針策定調査事業」）の成果を基礎として、1993年から3カ年にわたって実施された。塩池県で行われたプロジェクトと大きく異なるのは、霊武市の場合、黄河からの取水による灌漑可能な砂地造林であるということ、また灌漑可能であることから、農業、牧畜もある程度行われており、林・農・牧畜を総合的に発展させる戦略から、「アグロフォレストリー」の現地適用を目標に据えた実証調査として進められた。事業内容と事業経過を概括（5）すると、以下の通りとなる。

1) 事業の内容

中国砂地における「アグロフォレストリー」は、流砂を固定し、造林を進めるに当たり、高い生産性と大きな経済性を求めるため、林業と農業、林業と牧畜を合理的に組み合わせる土地利用システムのモデルを設定する方法で実施した。そこで提起された課題は次の3項目である。

① 林業と農業の複合システム（間作）

有機質が少ない砂漠の土壌は当然肥沃度は低い。当面若干外部からの養分の移入を必要とするが、近い将来には林木と草類の合理的な生産と利用（養分の循環）により有機質の林内自給を図り、土地の肥沃化と生産を安定させるシステムを確立する。

② 林業と畜産の複合システム

乾燥砂漠では畜産が重要な地位を占めている。ここでは林木と草本にあわせて間作の農作物が生産され、豆科の緑肥、作物の残渣の飼料としての活用が考えられ、糞尿の肥料としての還元も可能となる。この組み合わせにより複合的経済効果は急増する。

③ 林業の多様化（特用林産化）

薬木、薬草、工芸材料などの栽培である。中国における薬の原料には砂漠にだけ生育するもの、砂漠に良種を産するものなどがあり、人工栽培の将来は明るい。

2) 事業の経過

① 初年度（1993年度）

試験区の地理的位置、地形地貌、気候、土壌、原生植被、水利条件等の自然概況を精査し、日中双方の技術者による事業計画と施工設計を行い、地ならし、水利施設、林道、施業区画（灌漑区と無灌漑区）を完了した。

② 第2年度（1994年度）

灌漑区（45.9ha）の植栽及び無灌漑区（14.1ha）の砂障の設定、植栽及び播種を完了し、一部間作を開始

するとともに、林・農・畜の複合化、生態経済（バイオマス転換利用）の施設の設置とその運用を開始した。すなわち、灌漑区の中に、高木用材林帯、副林帯（水路・道路）、特用樹林、果樹林の造成開始、このほか無灌漑区の低木林帯の造成が行われた。このほか、林・農・畜複合化、及び生態経済は、1994年春から建設に着手し、同年完成と同時に養牛、養羊、養鶏を開始した。

③ 第3年度（1995年度）

活着状態の悪い個所の補植の実行、及び計画に従い間作の実施を開始した。

3) 取り組んだ技術的課題

砂地における農作物生産は、これまで数年作付けすれば数年は休閑地として地力を養う方法がとられてきた。数年で不毛の地になるほど地力が乏しいといえる。そこで、間作するにも森林を造成するにも先ず土地を肥沃化する必要があった。このため、砂丘に新たに造成した灌漑林地、無灌漑林地の生態環境、落枝落葉のみならず、間作も含め、すべての有機質の循環システムが成立するような生産形態の実施検討が進められた。なお、土地の肥沃化に重点を置く一方、アグロフォレストリーの収益性を高めることも考慮する必要がある。また、限られた短い期間で成果を出す必要があり、可能なものから実行することが基本とされた。

取り組むべき技術課題として日本側から提案された事項は以下の通りである。

① 間作（林農・林畜・特用林産等）

砂漠地域では土地（砂丘地）は広大であることから集約的利用という考え方は特にないため、林地に間作することは希である。しかし水利施設を有する土地ということになると水の効率的な利用という観点から間作は意味を持つものであり、事例も若干みられる。また、アグロフォレストリーに関しては、中国では雨量の多い江南地方などではみられても北方の砂漠地帯では未開拓である一方、生産性の向上を願う住民の期待も大きいものがある。したがって、地力を高めるとともに収益も期待できる最適な間作植物種の検討、施肥技術など増収法の検討、省力、節水技術の検討、病虫害の防除技術の検討が必要である。

② 造林（灌漑林、無灌漑林）

流砂地における造林としては、灌漑、無灌漑の2通りあるが、本プロジェクトでは、比較検討のため両者について実施し、検討課題として次の項目を設定することとなった。すなわち、降水量に生育が左右される無灌漑区と降水量の影響が少ない灌漑区との生育調査を行う。また、浅層地下水の水位の変化について調査を行うこととした。水位は灌漑区では変化なしかあるいは上昇の可能性もあり、この場合、塩基の増加をと

もない造林上危険を生じる。無灌漑区では、変化がないか、あるいは下降することが起こりうるので、この場合は林木密度を増減して調整する必要がある。さらに、雨量の少ない砂漠地帯において森林の持続を行うため気象変化を把握して、植栽木の本数調整等を実施する必要があるため、気象調査を行うこととする。

③ その他の基本的課題

中国における砂漠化地域は寒帯から亜熱帯地域にまで広がっており、そのため砂生植物相も大きく異なっている。また、自然環境特に水事情も全く異なる状況にあるが、寧夏における実証プロジェクトが他の地域での参考として有意義なものとなるよう、他地域に共通する課題として、2つの課題が選ばれた。

③-1 土壌化及び土壌養分の調査と検討

砂漠が緑化されるなどの環境の変化は、砂土を農耕土壌や森林土壌への改善をもたらすものである。しかも砂地の土壌化は環境条件によるが短期間で結果が出る事が知られている。したがって土壌化の調査を進めることで効果的な土壌改善技術の向上や指針が得られると考えられる。

③-2 土壌塩基の集積調査と検討

砂地での灌漑は、土壌の塩基集積の危険を持つ。したがって集積発生の予防措置を講じるため年々定期的に測定することが必要である。以上の技術的提案を織り込んだプロジェクトが集中的に実行された。3年間にわたるプロジェクト終了に当たり、中日双方の委員による鑑定委員会が開催され評価が行われた。評価結果の概略は前述したところであるが、詳細な内容は以下の通りである。すなわちプロジェクトは、中国寧夏回族自治区林業庁と日本国海外林業コンサルタンツ協会が共同して、「アグロフォレストリー技術適用治砂モデル林造成事業」として実行され、モデル面積60.34ha、実施期間は1993年より1995年の3年間で実行された。当地の平均年降水量は212mm、乾燥度は3.66である(5)。しかし、プロジェクト実行期間中は旱魃の影響により、降水量は例えば、1993年は年間143mmとなるなど、平均をさらに大きく下回る状況となった(6)。このような、流動砂丘地の過酷な条件にも拘らずプロジェクトは豊かな成果をおさめた。「このプロジェクトはアグロフォレストリーの実験を通じて砂漠化地域の治砂、開発利用について新たな段階に発展させた。

すなわち、

1) アグロフォレストリーの理論を踏まえた設計、施工により砂漠化地域の総合開発及び生物廃棄物・エネルギー・土壌の立体的組み合わせによるモデル林が造成された。これは、砂漠の開発・利用・研究を一体にした事業であり、独創性に富んでいる。

2) モデル林内の生態系は改善され、植生の被覆率は85.6%にまで達し、顕著な防護効果を発揮している。また生物から産出された肥料による循環システム(生物自肥)が実現した。

3) このプロジェクトは極めて短期間で、半荒漠の流動砂丘地を生命力に満ちた人工オアシスに変えた。また、砂漠化地域の農林牧の総合開発をモデル林造成に当たって多次元(複層すなわち生物生産層、資源開発層、経済増値層)林業を中心とし、総合的なエネルギー循環、物質再生の新たな段階に発展させた。今後、指導的モデル林としての期待が大きい。

4) このプロジェクトは生態経済学の基本原理に一致し、その生態、経済、技術、管理の各システムが調和し、高い効果を発揮している。以上のようにこのプロジェクトを総合すれば、砂漠化地域の治砂、開発利用の研究を新たな段階に発展させたということができ、文献検索の結果、このプロジェクトの成果は国際レベルに達していることが判明した(8)との評価をしている。

Ⅳ まとめ —実証調査プロジェクトの成果—

Ⅳ-1 技術的考察

Ⅳ-1-i 樹種選択について

砂漠化地域の森林造成では、前述したとおり、適応樹種の選定が重要である。実証調査プロジェクトの成果としては、絞り込みに成功したことが挙げられる。詳細については資料編を参照されたい(14)。

一方、問題点としては、新疆楊などの水分補給との関係で寡雨地帯における密度管理の徹底が求められる。

Ⅳ-1-ii 方格砂障について

砂漠化地域における砂の供給源は多様である。すなわち、地域の岩石の風化物、河成沖積物、湖底堆積物、洪積層浸食物、斜面浸食物などがある。しかし緑化プロジェクト対象地となっている移動砂丘を形成している砂についてみると風によって運搬されて来ていること、すなわち風速などの因子によって選別を受けることから均一性を持つことになる。結果として、その80%~90%が粒径0.05~0.25mmの範囲の細砂で構成されている。したがって傾斜面では滑りやすく植林行為にも困難性が認められていたが、予め方格砂障を設置することにより、作業行為の円滑性が確保されるようになったとの副次効果を指摘する声も聞かれた。また、1m×1mの格子状砂障が主力をなしているが、この規模が作業行動上においても有効と考えられる。また、地域経済に及ぼす面も見逃せない。す

なわち、草方格砂障は当地域では専ら麦藁が利用されているが、大規模な植林プロジェクトの進行にともない、麦藁の利用が生じることは農民の収入を高めることにも通じ地域経済に対するプラス効果が予測される。

IV-1-iii 砂地の土壌化

砂地内の植林地の砂を手にとってみると、僅か数年程度の経過であっても、粘性が感じられる。つまり土壌化現象が生じているのである。このメカニズムは、次のようになっている。すなわち、砂地に植物が生育すると地表の摩擦度が増大して、風砂流の障害物となる。植生の有無による砂の輸送量の差異は極めて大きい(2)。

風積砂土形成は3段階に区分されるもので、第1段階は、移動風砂土段階で、植生のない移動砂丘に植物が侵入して土壤微生物も僅かながら存在する。有機物の腐植化が進行するが砂堆によって植物がすぐ埋没してしまうため定着できず、植生は極めて貧弱な状態が続き、土壤断面の発達是不明瞭である。第2段階は、半固定風積砂土段階で植物の侵入が続き少しずつ植生が増えるにしたがって砂丘は半固定状態を呈するようになる。地形はなだらかになって表面がやや堅くなり、地表に薄い皮殻が形成される。表層は腐植の影響を受けて断面の分化が進む。第3段階は、固定風積砂土段階で植生がさらに発達し、砂生植物以外の植物も侵入するようになると砂丘の形状はより一層なだらかになり、地表の皮殻は厚くなって土壤硬度は大になる。粘土含量も増えて土壤構造がみられるようになる。実際に砂漠植林を行う場合は、これらの段階において人為的な行為を加えることになるので土壌化への移行がより早く行われると考えられる。

IV-1-iv 成果のまとめ

1) 技術的成果

寧夏回族自治区における森林面積は、中国建国時、僅か7万 ha、森林被覆率1.4%に過ぎなかった。これが、2000年には、54万 ha、森林被覆率は8.3%に増加した。森林被覆率8.3%は世界の森林陸地被覆率30%に比較しても、中国の森林被覆率20%弱に比較してもかなり低い状態にある。また、一連のプロジェクトの実施による砂地造林等の面積も必ずしも大規模とはいえないが、今後の砂漠化地域における造林等の推進に寄与するとみられる多くの成果を得た。すなわち、成果としては、①養分の生物循環の確立がある。砂地緑化により、土地からの養分収奪よりも土地に還元される養分が上回り、養分集積が進んだことが立証された。②林・農・畜の複合化モデルの完成: 林業を中心

としての農・畜産業の導入により、作物残渣、家畜糞尿をメタンガス化(エネルギー化)するなど資源利用の高度化や収入増加の道を開いた。③間作物、特用林産、薬用樹草の栽培の進展: 家畜飼料としての牧草栽培を先行させ、続いて野菜栽培、さらに特用林産物や薬用植物など収穫までにやや時間を必要とするものの栽培を進めたが生育は順調である。一方、今後においても、引き続き調査を実施し説明する必要がある事項もいくつか存在する。項目としては、林木の育成調査、浅層地下水と塩基集積調査、土壤調査、間作物収穫調査が挙げられている。これらの中で、注目されるべきは、「浅層地下水」に関する項目で、とりわけ、「水の動態変化」の分析(7)は次のとおりである。すなわち、灌漑経済林区の水の動態変化に関して、先ず、地下水の変化については、「実験区を設定した当初の地下水位は、12.08mであった。灌漑による最大上昇幅は、3.03mであった。秋期の降雨後に最高水位9.05mに上昇し、その後は漸減して第2年度の春期灌漑前の地下水位は、10.6mとなっている。灌漑経済林区の覆砂は9mを超え、風砂土の滲出は十分大きく、砂粒の保水性の差から灌漑水の大部分は砂層の深部に至り重力水となるため、初期の滲出率は78%と高くなっている。設定初期の1994年における灌水量については、第1次灌水はha当たり3,497m³で、以後、逐次灌水量をha当たり2,198m³まで減らし、12回の灌水を行った。年合計でha当たり27,675m³であった。1995年は、灌水回数を8回に減らし、平均ha当たり1,998m³、年計でha当たり15,984m³であった。これは1年目に比較して、42.2%の減少となっている。このことから灌漑区の風砂土質は改良の前に比べて、滲出は持続し、地下水位は常に上昇すると考えられる。但し、2つの高度(水位)に重視かつ警戒すべき問題がある。」とし、その1つは節水技術(微灌、噴灌、滴灌等)の運用は、砂漠化地区の開発利用の際優先的に考慮すべきであるが、その普及に際し、水利基本施設の設置について初期投資コストの増大が問題となる。もう1つは、アルカリ化の懸念であるが、黄河水の農用水質としての含塩量は、平均763mg/lで適正引水量で制御できればアルカリ化の危険を回避できるとしている。なお、黄河水に含まれる泥土の供給による土壤改善と緑化工の進展により、滲出減少の効果が大きいとされる。また、土壤含水量の動態変化については、「砂地における水の滲出は驚くべきで、これは水資源の極めて大きな浪費である。(中略)貴重な水資源が高木や灌木が水分を利用できない深さに滲出する損失量は、灌漑量の78%に及んでいる」としている。寧夏の砂漠地帯、特に流動砂丘地域における緑化において、今後期待されるいくつかの項目について述べる。

先ず、生態環境に及ぼす効果であるが、流動砂丘上に小規模とはいえ、アグロフォレストリータイプのモデル林を造成したことで、林草被覆率は85.6%となり、微気象への効果が明らかに認められた。すなわち、「年平均大気相対湿度が9.5% 高まり、年平均水面蒸発量が26% 低下、夏季地表温度1℃ 低下、通年地表温度0.2～0.4℃ 上昇、年平均風速12% 減速、灌漑経済林区の輸砂量は33分の1に減少し植栽樹木等が砂中埋設する恐れはなくなった」(8)。このような微気象効果が、今後砂漠における大面積の森林造成に繋がることによって、マクロ気象の改善に有効に働くことが期待される。

2) 社会・経済的成果

ナツメ、クコ、カンゾウなど、定評のある特産物と林業の組み合わせによるアグロフォレストリーの実験的導入については既に述べたところであるが、モデル森林や植林無償の実施にともない、地域経済の発展に寄与する可能性のある事例が生じている。例示的には、“柳条”^{*2}のように比較的短期間に成長し、石炭運搬などの竈材料として換金可能な灌木に着眼した農民が自発的な育成を実行するようになったとの報告が寄せられたり、カンゾウを食した羊の肉が良質化するとの情報がもたらされるなど今後の地域経済の発展につながる可能性が期待される。

経済効果について総括すれば、モデル林造成期間(1993年～1995年)の3年間の基礎建設費及び生産費の総投入額233万8,600元に対し、有効産出額は、年間6,774.6元/haとなり、開発前の天然半荒漠放牧地の年産額24元/haに比較して、282倍の上昇となった。今後予測も行われているが、効果はさらに上昇すると見込まれている。さらに、社会効益についてみると、砂漠地域において、しかも林農畜三者が融合するアグロフォレストリーモデル林の実証プロジェクトの成功は、中国のみならず世界各国の砂漠対策について、実用的なモデルとして貢献することが期待されるものとして評価される。

IV-2 総括的考察—今後に残された問題点と課題—

これまでの検討結果からわかるように、寧夏回族自治区における砂漠化地域での森林造成プロジェクトは全体としては成功事例と看做しうるものであるが、一方、今後に残された課題、すなわち、これまで長期間にわたって実施された多くの実証的なプロジェクトによっても、足りないものは何かということについて以下、政策面あるいは、技術面から論述することとする。

IV-2-i 政策的課題

前述したように、1992年のブラジルで開催の国連地球環境開発会議(UNCED)を機に中国における森林政策は、環境重視の森林持続政策に舵を切ってきた。すなわち、1995年中国政府は、新たな生態建設等の取り組みを開始した。

すなわち、核心は生態建設、生態安全、生態文明であり、孫(20)によれば、「生態建設を中心とするのは新しい時代の経済社会発展が林業に対して主導的な需要の変化に起因するもので、生態優先理念の体现であり、持続可能な発展を実現するため林業発展思想を提出し、生態建設は生態安全の基礎である。生態安全は森林植生を主体とした生態安全体系を確立すること、中国の水害と砂漠化防止に重点を置くことにあり、国家安全の主要な構成要素である。生態文明は持続可能な発展のしるしであり、人を基本とする発展観点から将来の人々の生存発展、道徳観を損なわず、人と自然の調和共存の価値観を基に持続可能な森林経営を営むことである」ということであり、北京・天津風砂源整備プロジェクト、三北地域等防護林プロジェクト、野生動植物保護プロジェクトなどが加速された。

しかし、一方、森林資源消費量は、増大の一途を辿っており、過去50年間の資源消費量は、100億 m^3 に達したといわれる。しかも現在の年間消費量、3.7億 m^3 で推移するとしても、今後の50年間の総消費量は185億 m^3 と見積もられる。また、黄砂の飛散、造林コストの上昇などのマイナス要素を考慮する場合、いかにして中国の広大な国土の中で、森林の被覆率を効率的に増加させることができるかということは国際的な課題でもあるとの認識を持つべきである。このような状況の中で、寧夏回族自治区における砂漠緑化作戦や生態保護プロジェクトの推進は、面積的な規模は小さいとはいえ、中国の新しい森林政策実現の先導的役割を担うものであり、その成否は中国全体の森林政策、ひいてはグローバルな森林持続の問題にも影響を及ぼす重要な課題である。

IV-2-ii 技術的課題

中国林業は種々の課題をかかえている。優良種子使用率は20%と低いことが指摘されている。林分の平均蓄積も1ha当たり78 m^3 と低位にある。人工林についての樹種構成は単純で、病虫害の発生も多く、平均蓄積もha当たり35 m^3 と極めて低く、今後の改善が必要である。一方、これまでの寧夏回族自治区における治砂造林の成果を造林技術的な側面からみると、既に記述したように草本植物及び灌木類の育成については、草・藁砂障設置方式の適用などと併せ、これまでのところ成功事例としての評価を行うことができる。しか

しながら、今後のことを考えると、各種の課題が存在している。まず、今後、灌木類のみならず高木の育成及び産業的造林の増大を図る必要がある。高木類については、適応樹種の絞り込みのほか、灌木類の造林を先行的造林と捉えるケースと同時並行的に混植を行う方式などを実証的に進める必要がある。また、寧夏回族自治区においても、これまでカミキリムシなどの大発生による被害を生じたことがあり、今後このようなリスクを避ける方策を確立する必要があるにも拘らず、脆弱性の要因である林分構成樹種の単純性が改善されているとはいえない。すなわち、三北地域では、現在に至るも、造林地の70%以上がポプラの純林で占められているという。今後における混交林の拡大が必要である。

IV-2-iii 国際協力の課題

中国における外援助協力の始まりは、1981年に遡る。1986年末までの最初の5年間における無償援助受け入れ内容は、すなわち WFP（国連・FAO 合同世界食料計画）による援助（黄土高原の水土流出プロジェクトで寧夏回族自治区の南、西吉県で実施された）、ドイツプロジェクト（山西省燕北地区におけるポプラ試験林場の設置による育種と検定の共同研究）、カナダプロジェクト（甘粛省における育苗プロジェクトなど）、日本プロジェクト（山西省吉県における「黄土高原治山技術訓練計画」プロジェクト）として実施された。以上のほか、借款関係では、1981年から1985年にかけて、世銀から6,373万ドル、クエートアラブ基金からの3,500万ドルの資金提供が行われた。この後、日本の対中国林業支援は年々増強されてきたが、最近の中国経済の発展にともなう国民所得の向上の状況などを踏まえ、日本の対中援助については終息の方向が示されている。一方、日本以外の諸国の対中国林業支援の動きをみると、日本と異なり、むしろ増強の傾向にある。中国政府関係者の発表では、2004年時点で、森林・林業について対中2国間援助を実施している国は、日本のほか、ドイツ、オランダ、フィンランド、ニュージーランド、カナダ、オーストラリア、韓国、EUと多数にわたっている。

V むすびー未来展望ー

これまで、中国の砂漠化地域の一角で長年にわたる森林造成の2国間協力事例について、いろいろな角度から分析してきたところである。

今後に残された、森林造成について考えるに当たって、その対象面積の広大さに立ち向かっていくためには、大きなエネルギーとともに強固な意志が必要とな

る。

その要素として、どのような未来展望のもとに行動するかが問われるところである。

以下、若干の所見を述べておくこととしたい。

例えば、大規模な砂漠植林を行う場合に、森林の増大が、将来の降水量や保水力にどのような影響を及ぼすかについては多くの人々にとっての関心事である。

特に、降水量については、今後の研究に待つところが多いが、毎年のように繰り返される旱魃を防ぐことは、大きな課題である。森林の造成面積は、まだまだ不十分である。一方、寧夏回族自治区の平原には、26.7万 ha の農田防護林（平原林網）があり、寧夏回族自治区林業庁（現在林業局）による30年間の気象資料分析によれば、「降水の多寡は平原林網によって局所的に効果はあるがマクロ的気象に影響を及ぼすことはない」（4）という。しかし、平原林網は、森林という観点では、密度が非常に低いものであり、密度の高い森林が大面積出現した場合の効果には異なる結果が出ることも考えられる。「賀慶棠の研究によれば、地球的規模でみれば、森林の増加による蒸発量等によって全体の降水量は1.05%増加し、森林蒸発が陸地降水量の増加に及ぼす影響は陸地平均降水量の2.9%を占めるとしている」（6）との見方もある。

もちろん、大規模森林造成の効果は、水循環問題のみならず、黄砂の発生防止効果も予測されるが、具体的検証については、今後に委ねられる課題である。

さらには、カーボンシンク機能の向上にも期待がかかるところである。

森林の環境機能を考えると、既に1国の森林は、1国のものではなく、地球的規模での環境の改善や持続、共生といった事柄と連動する時代となった。特に本研究では、これまで、砂漠化の脅威にさらされていた中国寧夏回族自治区の地域が、日中間の協力による実証プロジェクトの成功を契機として、砂漠を押し戻す可能性を見出すことが可能となり、世界の砂漠化地域に対し有効な指針となりうるものと評価した。なお、日中間の協力に係る植林等のプロジェクトは、本研究で対象としたもの以外においても、中国内の他地域で大きな成功をおさめた事例や現に実行中の事例もある。すなわち、大規模プロジェクトの事例としては、山西省黄土高原で2002年から2007年にかけて日中間の協力で実施された、山西省黄土高原における無償植林プロジェクト（「黄河中流域保全林整備計画」）がある。このプロジェクトにおいては、4,900haの植林が、これまでなかなか成功をみなかった黄土地域における大規模植林について中国内外の認識を覆す結果をもたらした。植栽樹種は、アブラマツ（油松 = *Pinus tabulaeformis*）、コノテガシワ（側柏 = *Biota*

orientalis), ニセアカシア (*Robinia pseudoacacia* L.) などの混植方式を採用し, 整地方式は, 地形に応じ, 水平溝あるいは魚鱗坑方式が採用された。また, 「首都(北京)周辺風砂被害地域植生回復モデル計画調査」も実施されたところであり, 国際間協力プロジェクトとして重要かつ有意義なものであるが, 砂漠における緑化とは手法等に異なるところもあるので稿を改めて論ずるべきであろうと考える。もちろん, 日本のみならずドイツその他の諸国も中国寧夏回族自治区の砂漠化地域の緑化や山西省黄土高原の森林造成, その他に関心を深め, 協力プロジェクトを設定するケースが増加している。一方, 日本の国際協力の実情は, いわゆる ODA 予算の動向をみると, 減少傾向にあり, 国際的にみても徐々に順位を下げつつある(17)。

寧夏回族自治区の事例に限らず, 森林造成等の国際協力プロジェクトの成功例は多くみられるが, 一旦プロジェクトが終了した後は, それぞれの国に事業の継続が任されることになるのが基本である。森林のように時間をかけて育成, 持続を行う分野のプロジェクトの場合, 事後の技術協力等の持続が欠かせないものである。また, 人材の育成や地域ごとの NGO グループなどの活動に対し資金も必要とされる。したがって, 従来の手法に加え, 地球環境全体に着目した, 官民協力による新たな持続的, 資金的システムの構築を図る必要があると考える。

また, 同時に持続的な森林造成及び森林の維持を図るには, 人材の育成が欠かせない条件である。

寧夏回族自治区における砂漠化防止プロジェクトの実施効果として, 砂漠化の進行を停止させ, さらにこれを押し戻しつつあることについて, 現地の状況をみれば, 誰しも認識可能な事例であることを本論文の「むすび」において明確にしておきたい。

本研究の対象事例が, 中国のみならず世界各国の砂漠化防止のモデルとして先導的役割を果たしていくことに期待したい。

注

- * 1 本論文で使われている「砂漠緑化」, 「砂漠造林」, 「砂漠植林」は「砂漠化地域における植樹, 植草」の意味である。
- * 2 柳条は柳(*Salix* 属)の若枝, 編み籠などの入れ物を作る材料になる。

引用文献

- (1) 中国国家林業局(2007) 林業発展報告2007中国林業出版社。
- (2) 海外林業コンサルタンツ協会(1990) 砂漠化地域森林復旧技術指針策定調査事業中国基礎調査報告書: 39~40. 社団法人海外林業コンサルタンツ協会。
- (3) 前掲書(2): 91~93.
- (4) 海外林業コンサルタンツ協会(1993) 砂漠化地域森林復旧技術指針策定調査事業中国寧夏回族自治区塩池県(毛烏素沙漠)総括報告書 社団法人海外林業コンサルタンツ協会. 147pp.
- (5) 海外林業コンサルタンツ協会(1996) 砂漠化地域森林復旧技術 指針策定調査事業総括報告書(中国寧夏回族自治区靈武県*編): 2~9. 社団法人海外林業コンサルタンツ協会. *現在は靈武市。
- (6) 前掲書(3): 39~40, 47~48.
- (7) 前掲書(3): 73~77, 88.
- (8) 前掲書(3): 101.
- (9) 海外林業コンサルタンツ協会(1999) 中国砂漠化地域におけるモデル林造成のあゆみ 社団法人海外林業コンサルタンツ協会. 23pp.
- (10) 海外林業コンサルタンツ協会(2008) 砂漠化を防ぎ黄砂の発生を抑える植林技術 社団法人海外林業コンサルタンツ協会. 31pp.
- (11) 環境白書(平成18年版): 環境省ホームページ <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/img/225/fb36.11.2.gif>
- (12) 金普春・黄勝澤・小澤普照(2010) 中国寧夏回族自治区における砂漠化地域の森林造成に関する技術的対策, 仕様及び適応樹種等について: 森林計画学会誌. ○~○ pp.
- (13) 前掲書(12).
- (14) 前掲書(12).
- (15) 国際協力事業団(2001) 中華人民共和国黄河中流域保全林造成計画基本設計調査報告書 社団法人海外林業コンサルタンツ協会・財団法人林業土木コンサルタンツ(共同企業体). 291pp.
- (16) 黄 勝澤(2006) 砂漠化対策としての緑化と“砂地産業”-寧夏における取り組みを事例に-。日本緑化工学会誌32(2): 299~303.
- (17) 小澤普照(2008) 現代森林政策学: 246~247pp. 遠藤日雄編著, 日本林業調査会, 東京.
- (18) 朱震達・呉正(1980) 中国沙漠概論: 6~7. 北京科学出版社.
- (19) 孫 長春(2004) 中国における持続可能な森林経

- 営に関する研究：118. 中国寧夏回族自治区林業局.
- (20) 前掲書 (19)：127. (2009年4月5日受付)
- (21) 前掲書 (19)：127～128. (2011年7月18日受理)
- (22) 前掲書 (19)：135. (23) 丁国棟ら (2002) 沙漠学概論：5～7. 中国林業出版社.