

# ま え が き

本書は、成蹊大学アジア太平洋研究センターの一叢書であり、同センターの2008年度～2010年度のプロジェクトとして実施されてきた「アジア太平洋地域における乾燥地植林による二酸化炭素固定とバイオマス生産・転換」の成果報告書として、同センターの助成のもとで刊行されるものである。

振り返れば1988年にも、同センターにて1年間「アジア太平洋地域における砂漠化に関する調査、解析およびその防止法、緑化法」なるプロジェクトにおいても責任者をつとめさせていただいた。同じころ、日本沙漠学会が設立された。

さらに同じころ、東京大学工学部化学工学科・小宮山宏教授（後に総長）のもとに化学工学者若干名が集まり、地球温暖化対策技術のあり方について検討を始めた（化学工学会・CO<sub>2</sub>研究会）。この活動により、CO<sub>2</sub>吸収源創出技術としての植林の重要性が共通に認識された。筆者が議長をつとめた1995年 Desert Technology III, 本栖湖（日本沙漠学会後援）でも炭素固定のための乾燥地植林が議論された。

1992年度以降10年近くにわたり、乾燥地植林あるいは森林をCO<sub>2</sub>固定の面から調査する委員会がRITE/NEDO/化学工学会等でもたれた。このような観点から実証を進めるべく、研究プロジェクトの組織化が画策され、1998年10月、東京大学・山田興一教授を代表とする、オーストラリアを対象としたJST戦略的基礎研究CREST、「乾燥地植林による炭素固定システムの構築」が採択された。本書の中核をなす技術には、山田教授の強いリーダーシップのもとで達成されたものが多く含まれている。

2003年10月、上記CRESTプロジェクト終了とほぼ時を同じくして、環境省地球環境研究総合推進費「陸域生態系の活用・保全による温室効果ガスシンク・ソース制御技術の開発」がスタートした。このなかで「荒漠地でのシステ

ム的植林による炭素固定量増大技術の開発に関する研究」のテーマリーダーをつとめることとなった。全体のまとめは小宮山教授から山田教授（当時・成蹊大学特別研究招へい教授）に引き継がれた。その終了を迎え、これまでの研究のまとめと今後の継続のためのプロジェクトとして、頭書の本学プロジェクトを申請した。幸いなことに、その間に申請していた三井物産環境基金も採択され、比較的大規模な計測も2011年まで継続可能となったが、本研究グループの業績をまとめ、さらにはオーストラリアだけではなく、インド、ネパール、中国といったさまざまな土地状況により植生悪化が見られる場所での植林技術を提案するため、予定どおり本書をまとめることとしたものである。

本書はなぜ「沙漠を森に」すると温暖化が防げるのか、なぜ沙漠・乾燥地であるべきかから始まり、そのための必要な技術を集め、そしてその展開を図ったものである。日本は湿潤温暖な地域であり、沙漠などはない。しかし、世界の数パーセントを占めている国内でのエネルギー消費量を、その一部を太陽などの自然エネルギーに変えていくことはできるし、そうすべきではあるが、すべてを置き換えられるほど甘くはない。

安価な太陽電池をつくり、あるいはそれをつくる技術も含め、これを海外に「輸出」することが地球のためになることは、容易に理解していただけるだろう。同様に、「日本には沙漠などないのに」などとは思わないでいただきたい。日本の技術で「沙漠を森に」変えていくことこそ、「地球のためにできる」日本人がなすべきもう一つの貢献なのである。

2011年2月

編著者を代表して 小島 紀徳

# 目 次

## 1. 序 章

|                      |    |
|----------------------|----|
| 1.1 全球的気候変動          | 1  |
| 1.2 京 都 議 定 書        | 1  |
| 1.3 地球の炭素循環と植林       | 2  |
| 1.4 乾燥地・半乾燥地を選択する理由  | 4  |
| 1.5 植林とバイオマス生産と太陽電池  | 6  |
| 1.6 再度、植林とバイオマス燃料    | 7  |
| 1.7 食料生産と水循環とバイオマス生産 | 9  |
| 1.8 ストラテジー           | 11 |
| 引用・参考文献              | 11 |

## 2. 乾燥地に木を植えるには —— 目的と評価 ——

|   |    |
|---|----|
| 2.1 乾燥地植林において検討すべき課題  | 12 |
| 2.1.1 植林に伴う水の流れ   | 12 |
| 2.1.2 植物中の水——樹種の選択——  | 13 |
| 2.1.3 土壌水——蒸発から蒸散へ——  | 14 |
| 2.1.4 地表水——雨水の有効利用と灌がい——                                    | 16 |
| 2.1.5 水の不足以外の要因——塩の蓄積——                                     | 18 |
| 2.2 乾燥地植林の評価  | 19 |
| 2.2.1 CO <sub>2</sub> の全固定量の評価                              | 19 |
| 2.2.2 植林に伴うCO <sub>2</sub> 発生量の評価（CO <sub>2</sub> の純固定量の評価） | 20 |
| 2.2.3 植林事業のコストの評価   | 22 |
| 2.2.4 植林プロジェクトの期間と評価  | 22 |
| 2.2.5 乾燥地植林によるバイオマス生産の評価                                    | 23 |

|         |    |
|---------|----|
| 引用・参考文献 | 24 |
|---------|----|

### 3. 植林地の概要

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 3.1 西オーストラリア州の概要               | 25 |
| 3.2 レオノラ地区の概要と調査内容             | 27 |
| 3.3 半乾燥地小麦地帯の概要と既存の植林方法        | 36 |
| 3.3.1 半乾燥地小麦地帯における自然環境と土地利用の変遷 | 36 |
| 3.3.2 小麦地帯における塩害・湛水害の発生原因とその現状 | 38 |
| 3.3.3 塩害・湛水害対策としての植林           | 40 |
| 引用・参考文献                        | 43 |

### 4. 乾燥地の植物生理とモデル化

|  |    |
|--|----|
| 4.1 植物の生理と耐乾性                                | 45 |
| 4.1.1 耐乾性植物                                  | 45 |
| 4.1.2 高等植物細胞の吸水機構                            | 46 |
| 4.1.3 蒸散防止機構                                 | 48 |
| 4.1.4 C <sub>4</sub> 植物とCAM植物                | 48 |
| 4.1.5 乾燥地に植栽する植物の選択                          | 49 |
| 4.2 乾燥地造林における植物生理モデルの必要性                     | 50 |
| 4.3 乾燥地に生育する樹木の光合成とその特徴                      | 52 |
| 4.4 植物の生理特性から造林技術への展開                        | 54 |
| 4.5 植林プロジェクトにおける <i>E. camaldulensis</i> の生理 | 56 |
| 引用・参考文献                                      | 60 |

### 5. 植林プロジェクトの考え方と計画

|                   |    |
|-------------------|----|
| 5.1 適した樹種を選択するために | 61 |
| 5.1.1 乾燥地・半乾燥地の特性 | 61 |
| 5.1.2 乾燥地植林の意義と目的 | 62 |
| 5.1.3 植林を始めるまえに   | 63 |
| 5.1.4 樹種選択        | 69 |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 5.2 植林場所の選定 .....                   | 74 |
| 5.2.1 植林地域の選定手法 .....               | 74 |
| 5.2.2 植林区画の選定手法——乾燥地—— .....        | 76 |
| 5.2.3 植林区画の選定手法——Wheat belt—— ..... | 81 |
| 5.3 プロジェクトの準備と計画 .....              | 83 |
| 5.3.1 現地の協力 .....                   | 83 |
| 5.3.2 環境条件の把握 .....                 | 84 |
| 5.3.3 苗畑について .....                  | 86 |
| 5.4 植林の補助工法 .....                   | 87 |
| 5.4.1 ウォーターハーベスティング .....           | 87 |
| 5.4.2 灌がい設備 .....                   | 88 |
| 5.4.3 雑草・灌木・岩石などの除去 .....           | 88 |
| 5.4.4 道路の整備 .....                   | 90 |
| 5.4.5 柵・フェンス .....                  | 90 |
| 5.5 造成された森林の管理 .....                | 91 |
| 5.5.1 毎木調査 .....                    | 91 |
| 5.5.2 天候のモニタリング .....               | 92 |
| 5.5.3 枯死木と植え替え .....                | 93 |
| 5.5.4 灌水 .....                      | 93 |
| 5.5.5 植林木の伐採 .....                  | 94 |
| 引用・参考文献 .....                       | 95 |

## 6. 環境改善技術の導入

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 6.1 塩類集積土壌について .....        | 97  |
| 6.1.1 世界における塩類集積土壌の分布 ..... | 97  |
| 6.1.2 塩類集積土壌の生成と性質 .....    | 98  |
| 6.1.3 塩類集積土壌の改良について .....   | 99  |
| 6.2 アルカリ塩類集積土壌の改良と管理 .....  | 103 |
| 6.2.1 土壌改良剤の選択 .....        | 103 |
| 6.2.2 耕作方法 .....            | 103 |
| 6.2.3 作付方法 .....            | 104 |

|       |                            |     |
|-------|----------------------------|-----|
| 6.3   | ハードパン破碎技術                  | 104 |
| 6.4   | 集水技術                       | 112 |
| 6.5   | 小麦地帯でのアグロフォレストリーのための土壌改善技術 | 115 |
| 6.6   | 保水材                        | 118 |
| 6.6.1 | 保水材の種類                     | 119 |
| 6.6.2 | 有機合成高分子系の高吸水性ポリマー          | 120 |
|       | 引用・参考文献                    | 126 |

## 7. 発芽育苗技術

|       |              |     |
|-------|--------------|-----|
| 7.1   | はじめに         | 129 |
| 7.2   | 種子と発芽        | 129 |
| 7.2.1 | 種子の入手        | 129 |
| 7.2.2 | 種子の休眠および発芽特性 | 132 |
| 7.3   | 育苗           | 136 |
| 7.3.1 | 苗木の種類        | 136 |
| 7.3.2 | 苗木の育成        | 140 |
|       | 引用・参考文献      | 142 |

## 8. オーストラリアでの育林技術

|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 8.1   | オーストラリア乾燥地における育林技術     | 144 |
| 8.1.1 | 植栽方法                   | 144 |
| 8.1.2 | 初期保育方法                 | 146 |
| 8.1.3 | 植林上の留意点                | 147 |
| 8.2   | 塩類集積地における育林技術          | 147 |
| 8.2.1 | 植栽方法                   | 147 |
| 8.2.2 | 初期保育方法                 | 148 |
| 8.2.3 | 植林上の留意点                | 149 |
| 8.3   | 炭素固定を持続的かつ有効に行うための植林技術 | 150 |
| 8.3.1 | 萌芽特性の利用                | 150 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 8.3.2 萌芽再生林の育成      | 151 |
| 8.4 技術の全球レベルへの展開と展望 | 152 |
| 8.4.1 考 え 方         | 152 |
| 8.4.2 全球レベルへの展開     | 153 |
| 8.4.3 バイオマス生産の展望    | 155 |
| 引用・参考文献             | 156 |

## 9. バイオマスエネルギー

|                  |     |
|------------------|-----|
| 9.1 エネルギー変換技術概要  | 157 |
| 9.2 生物化学的変換法     | 158 |
| 9.2.1 エタノール      | 158 |
| 9.2.2 エタノール製造法   | 159 |
| 9.3 熱化学的変換法      | 162 |
| 9.3.1 ガ ス 化      | 162 |
| 9.3.2 合成ガスの液体燃料化 | 163 |
| 9.3.3 急 速 熱 分 解  | 164 |
| 引用・参考文献          | 165 |

## 10. 炭素固定量と経済性評価

|   |     |
|---|-----|
| 10.1 炭素固定量の評価                               | 166 |
| 10.1.1 炭素固定量認定の仕組み                          | 166 |
| 10.1.2 樹木のバイオマス量の評価                         | 167 |
| 10.1.3 そのほかの炭素プールの評価                        | 168 |
| 10.1.4 CDM/JI で認定される CO <sub>2</sub> 固定量の評価 | 169 |
| 10.1.5 コスト, ポテンシャルの評価                       | 171 |
| 10.2 ベースライン・リーゲージの求め方                       | 171 |
| 10.3 生産された有機物の行方——炭素サイクル——                  | 174 |
| 10.3.1 森林内の有機物の一般的な流れ                       | 174 |
| 10.3.2 乾燥地のリター流出の定量評価およびその重要性               | 177 |
| 10.4 乾燥地植林の経済性                              | 181 |

10.5 期待される CO<sub>2</sub> 固定量 ..... 186  
引用・参考文献 ..... 190

## 11. 他地域への展開

11.1 沙漠の緑化と CO<sub>2</sub> 固定植林の両立 ..... 192  
11.2 中国における乾燥地緑化の現状と展望 ..... 194  
    11.2.1 中国の乾燥地・半乾燥地の状況 ..... 194  
    11.2.2 乾燥地・半乾燥地植林を取り巻く社会条件 ..... 195  
    11.2.3 在来（経験的）手法の多様さ ..... 197  
    11.2.4 科学的データの不足 ..... 202  
11.3 脱硫石膏を利用した塩類土壌改良 ..... 203  
    11.3.1 はじめに ..... 203  
    11.3.2 小規模試験地における各種脱硫石膏の効果の検討 ..... 205  
    11.3.3 大規模試験区への展開 ..... 207  
    11.3.4 今後の展開 ..... 209  
11.4 インドの現況と展開の可能性 ..... 210  
    11.4.1 CO<sub>2</sub> 固定を目的としたタール沙漠の大規模植林 ..... 210  
    11.4.2 耕種農業復活のための植林 ..... 213  
引用・参考文献 ..... 216

## 12. 結 論

あ と が き ..... 221



# 1 序 章

## 1.1 全球的気候変動

IPCC（気候変動に関する政府間パネル, Intergovernmental Panel on Climate Change）が設立されたのは1988年のことである。世界に向けた、大気中のCO<sub>2</sub>濃度増大による地球規模での「気候変動」に対する警鐘が鳴らされたのは、その第一次評価報告書（FAR）が公表された1990年のことである。その後、1995年に第二次評価報告書（SAR）が、2001年に第三次評価報告書（TAR）が、そして、第四次評価報告書（AR4）もすでに公表されている。1992年にはリオ・デ・ジャネイロにて「環境と開発に関する国際連合会議」いわゆる地球サミットで「気候変動に関する国際連合枠組条約」が採択された。これを受けて、締約国会議（COP）が開かれ、その第3回の1997年12月、京都議定書が採択された。しかし米国の離脱などにより、この批准が大幅に遅れた。先進国だけの議定書であり、かつ排出の55%以上となる国の批准が必要であったからである。最終的にはロシアの批准を受け、2005年2月に発効した。

## 1.2 京都議定書

京都会議で決まったことは以下のとおりである。

- ・1990年基準で2010年までに、厳密には2008～2012年の平均値として以下を達成する必要がある。ただし、第一世代、第二世代フロンが、オゾン層破壊防止を目的としたモントリオール議定書で逐次生産できなくなったことによる代替フロン類であるHFC、PFC、SF<sub>6</sub>に限っては、1995年基準である。本書が刊行される頃には、まさに京都議定書での約束が実行されたかどうか、すなわち全球的に削減が達成できたかがほぼ見えてくる時期にあたる。

- ・先進国5.2%減：日本6%，米国7%，EU8%減。この数字の決定には、多くの議論とかけひきがあった。しかしその後、米国が議定書から離脱する。旧ソ連圏は増減なし、オーストラリアが8%増という数字は、これらの国々での、1990年の経済状況を鑑み決められた数字であるが、これらの批准にも時間がかかった。
- ・単位モル（分子数）当りの温暖化効果を、CO<sub>2</sub>を1としたときに、メタンは21倍、N<sub>2</sub>Oは310倍、代替フロン類が1300倍、PFCが6500倍、SF<sub>6</sub>が23900倍として与える。なお、ここではモントリオール議定書に定められたフロン類は対象から除かれている。
- ・京都メカニズムと呼ばれる、共同実施、排出権取引、CDM（clean development mechanism）。経済原理を組み込むことで、より効率的削減を試みている。さらに、1990年以降の土地利用変化による吸収もカウントされることとなった。

### 1.3 地球の炭素循環と植林

土地利用変化とは、まさに本書が目指すことを表している。いままで植生がなかったところに森林ができれば、その分地上に炭素がストックされることになり、その分大気中のCO<sub>2</sub>が減少する。ただし、それ以前に熱帯林などの破壊が進んでいる現状を解決する必要がある。

図1.1はIPCC第四次評価報告書にある地球の炭素バランスである。ここで、矢印で表されている数字はフラックス、すなわち各大気などの各ボックス間の移動量である。また、ボックス内の数字はリザーバ、すなわち各ボックス内の炭素の保持量である。産業革命以前の地球がほぼ定常状態であったときの数字は、リザーバについては+/-のまえの数字、フラックスについては下に点線がある数字である。化石燃料の使用など人為的な活動によりもたらされた付加的な数字は、フラックスについては現在の値を下に実線をつけて表し、一方、リザーバについてはこれまでの積算量を+/-の後ろに記載している。

ここで、植物、土壌・遺体とあるのはいわゆる生態系内のことであり、増大

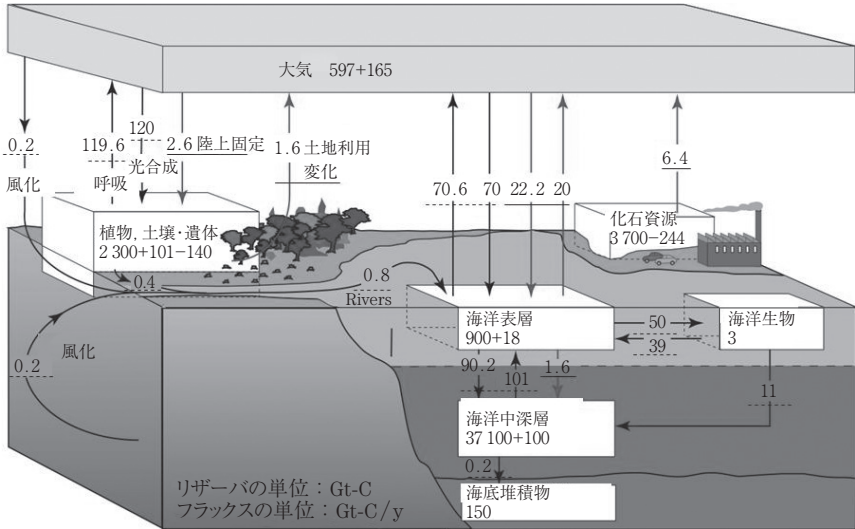


図 1.1 地球の炭素バランス(炭素換算 Pg=Gt=10 億 t, IPCC 第四次評価報告書の図に一部加筆)

分は CO<sub>2</sub> 濃度の増大により「植物が太った」ことを意味し、減少分は森林破壊によるものである。これまでの化石燃料使用量 244 Gt-C に匹敵する 140 Gt-C が森林破壊により大気に放出されたと見積もられている。一方、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度の増大分は 165 Gt-C である。すなわち、過去の森林破壊分程度を植林する「だけ」で、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度の増大分 (100 ppm) 近くを吸収できることになる。ただし、現在でも土地利用変化 (主として森林破壊) による炭素排出量は 1.6 Gt-C であり、化石燃料などからの排出量 6.4 Gt-C を含めた全排出量の 2 割を占めており、これをゼロにすることがまずは必要である。

もう一つの問題は、これらの数字をどのように精度よく見積もるかである。海洋も同様であるが、自然界への吸収量の正確な見積りは難しい。京都議定書の土地利用変化による CO<sub>2</sub> の吸収ばかりではなく、森林管理による吸収量として (日本に課せられた 6%削減のうち) 3.7~3.9%分まで認められることになっているが、どこまで信頼性がある数字が出せるのか疑問である。

しかし、仮に見積りに十分な精度がないとしても、以下のように何もないと

ころに樹木が育てば、炭素が固定されていることは明らかである。見積りの高精度化はもちろん必要であるが、精度の範囲内で内輪の数字として見積もっておくだけでも十分だろう。植林は化石燃料からの排出抑制と双壁をなす重要な対策であると強く認識しておく必要がある。

### 1.4 乾燥地・半乾燥地を選択する理由

表 1.1 には、さまざまな生態系が保持する炭素量を示した。図 1.1 の中から生態系だけを切り出し、詳しくした表である。出典が異なるので、数字には整合性はない。ここで、生体とは生きている生物中の炭素であり、遺体とは土中などの有機物である。有機物と書いてある数字が、図 1.1 の「植物、土壤・遺体」のリザーバに相当する。密度は単位面積当りの有機物量を炭素換算したものである。一方、フローは生態系の純一次生産速度を表している。同様にその横には面積当りの値を示した。右端の列には時定数として、生体密度および総計の炭素密度を純生産速度で割った値を、年の単位で示した。この値は、生態系が形成されるための時間の目安となる。

全陸域の 3 分の 1 を占める森林生態系が、生体では陸域全体の約 9 割を占め

表 1.1 生態系の保持炭素量・一次生産速度と時定数(炭素量/純生産)([小島 1994]を一部改訂)

|        | 面積<br>〔億 ha〕 | 有機物〔Gt-C〕 |       | 密度〔t/ha〕 |           | 純生産量 生産密度<br>(フロー) |          | 時定数〔y〕  |       |
|--------|--------------|-----------|-------|----------|-----------|--------------------|----------|---------|-------|
|        |              | 生体        | 遺体    | 生体       | 遺体 (総計)   | 〔Gt-C/y〕           | t/(ha・y) | 生体 (総数) |       |
| 熱帯林    | 18           | 270       | 126   | 150      | 70 (220)  | 13.6               | 7.5      | 20      | (29)  |
| 温帯林    | 12           | 130       | 153   | 110      | 130 (240) | 7.1                | 5.9      | 19      | (40)  |
| 亜寒帯林   | 13           | 110       | 225   | 85       | 175 (260) | 4.25               | 3.3      | 26      | (79)  |
| 低木林    | 8            | 40        | 80    | 50       | 100 (150) | 2.4                | 3.0      | 17      | (50)  |
| 淡水湿原   | 4            | 4         | 80    | 10       | 200 (210) | 1.25               | 3.1      | 3.2     | (67)  |
| 熱帯草原   | 13           | 7         | 104   | 5        | 80 (85)   | 1.95               | 1.5      | 3.6     | (57)  |
| 温帯草原   | 9            | 9         | 135   | 10       | 150 (160) | 2.25               | 2.5      | 4.0     | (64)  |
| 農耕地    | 14           | 14        | 84    | 10       | 60 (70)   | 4.2                | 3.0      | 3.3     | (23)  |
| ツンドラ   | 8            | 4         | 160   | 5        | 200 (205) | 0.4                | 0.5      | 10      | (410) |
| (半) 沙漠 | 45           | 5         | 26    | 1        | 6 (7)     | 0.9                | 0.2      | 5.5     | (35)  |
| 放棄地    | 5            | 15        | 40    | 30       | 80 (110)  | 1.25               | 2.5      | 12      | (44)  |
| 全陸域    | 149          | 608       | 40    | 30       | 80 (110)  | 1.25               | 2.5      | 12      | (44)  |
| 全海域    | 361          | 608       | 1 213 | 41       | 81 (122)  | 39.6               | 2.7      | 15.4    | (45)  |
| 全地球    | 510          | 828       | 2 100 | 16       | 41 (57)   | 64.4               | 1.26     | 12.9    | (45)  |

ている。生体、遺体の総計でも、6割以上を占めている。沙漠・半沙漠に放棄地を加えれば、合計もやはり全陸域の3分の1を占めているが、これをもし森林に変えることができるとするならば、1兆t (1 000 Gt) の炭素が新たに陸上に蓄積されることになる。

図 1.1 から大気中に蓄積される炭素は、毎年、(化石燃料)6.4+(土地利用変化(森林破壊))1.6-(陸上固定)2.6-(海洋吸収)2.2=3.2 Gt であり、ちょうど化石燃料から排出される CO<sub>2</sub> の半分である。上述の 1 000 Gt を 3.2 で割れば 300 年の対策となるということである。さらに森林破壊をストップできたとすれば、大気中の CO<sub>2</sub> の増加は 1.6 Gt となり、600 年の対策となる。もちろん沙漠のすべてが植林可能というわけではないが、それでも非常に大きな可能性を持っている。これが、大部分が乾燥地、半乾燥地にある(半)沙漠、放棄地に注目する最も大きな理由である。

全陸地面積の3分の1を占める森林生態系、特に低木林については、さらに手を入れてそのストックを増やすことは不可能ではないだろうが、たかがしれている。残りの3分の1のうち、湿潤地、ツンドラもすでに多量の炭素を蓄積している。もちろんこのような生態系を保持することは重要である。残る場所は草原と農地である。もちろん草原での植林も考えられるが、技術としては半乾燥地に準ずると考えてよい。最後の農地については、まさに森林から転換されたものも多いと思われるが、これを森林に戻すことは、人類にとってはある意味ナンセンスというべきだろう。すなわち、人類はこれまでに森林を伐採して農地を形成してきたが、その農地を森林に戻すことができない以上、沙漠・半沙漠の一部は森林に戻すべきであるともいえよう。

図 1.2 には、樹木の成長に伴う炭素固定の様子を示す。図の左上は植林後放置した場合である。木が生きている限り光合成は続けられるが、成熟後は光合成はすべて自らあるいは土壤中での呼吸により失われ、実質固定はされなくなる。すなわち左下のように全固定炭素量は最大固定量以上には増えない。ということは、CO<sub>2</sub> 排出削減を続けるためにはひたすら植え続ける必要があるということであり、それでも前述の 300 年あるいは 600 年持つということである。

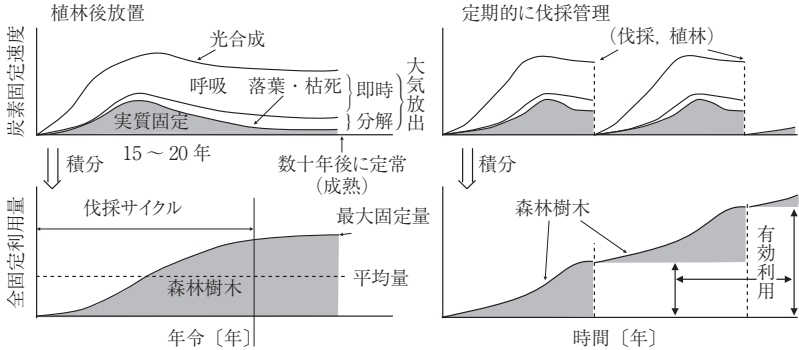


図 1.2 樹木の成長に伴う炭素固定の様子 ([小島 1994] に一部加筆)

### 1.5 植林とバイオマス生産と太陽電池

森林生態系をバイオマス生産の場として活用するならば、話は異なる。余剰分だけをエネルギー源とする（これをバイオマスエネルギーという）のであれば、森林中にストックされる炭素量は最大のままと考えてよいが、通常は図 1.2 の右上のように、成熟するまえにバイオマスを刈り取り、図の左下に示すように、植林－伐採サイクル内での時間平均値を森林中にストックされている炭素量として与えるべきである。伐採サイクルにもよるが、この値は、最大固定量の半分程度あるいはそれ以下まで減少してしまうことに注意したい。

一方、伐採分を有効に用いるのであれば、例えば化石燃料代替として、もし仮に同じ炭素排出効率で使用するのであれば、その分は炭素固定と同様に大気中の CO<sub>2</sub> の増大を抑えることとなる。乾燥地に森林を形成することができるくらいなら、余った土地で太陽電池あるいは風車を用いてエネルギーを生産したらよい、との提案もあるだろう。

何を選択すべきかを考えるための指標を図 1.3 に示した。プロットが図の上であればあるほど、単位面積当りの固定量・削減量は大きくなる。したがって、植林だけより、あたりまえであるがバイオマスを生産するほうが、そして太陽電池で太陽光発電をするほうが、その分の CO<sub>2</sub> が固定・削減でき、効果は大きい。しかし、プロットが図の右であればあるほど、少ない投入エネルギーでたくさ

の性質にも多少の問題が発生している。平地の中心近くで行った土壌調査の結果では、有機物を構成する炭素の深さ方向の分布に地層の特徴が表れ、浅いところの炭素含有量よりも 50 cm 以上深い土壌の炭素含有量のほうが大きいことが明らかになった。土壌を形成する有機物の表層部分は流亡し、また、土壌中に保持されるべき有機物は流下し、礫層に達して作物の根群域を脱していることが推測される。このような状況は、土壌の再生と耕種農業の復活にとっては困難さを増すものとなる。植林と客土の導入による土壌形成も考えられるが、この地域の要望を満たす農地保全を目的とした植林は、その可能性は明らかになっても大きな効果は得られないとの調査結果となった。

ヴィンディヤ山脈傾斜地とヒンドスタン平原の境界部にはシャマルダンドの谷間と同じような谷間が多数存在する。これらの土地の耕種農業用農地としての維持管理および再生が困難であるならば、この土地を温暖化対策としての大規模植林の実施地として新たな産業をおこすことによって、地域振興には貢献できる。CO<sub>2</sub> の吸収固定を目的とする大規模植林は、現状の地域社会の要望には沿わないが、この地域で新たに展開する意義は十分に認められると考えられた。

## 引用・参考文献

- [赤木 2005] 赤木祥彦：沙漠化とその対策，p.209，東京大学出版会（2005）
- [鬼頭ら 2010] 鬼頭浩文，中野 諭，酒井裕司：中国天津市・瀋陽市の脱硫アクティビティに関するシミュレーション～経済学・工学・農学・流体力学・疫学の統合モデルによる相互作用評価～，MACRO REVIEW，**23**，pp.23-34（2010）
- [国際緑化推進センター 2009] 国際緑化推進センター：黄砂対策植生回復技術マニュアル（砂漠化対策と乾燥地の緑化技術），p.203，国際緑化推進センター（2009）
- [齊藤・谷本 1995] 齊藤昌宏，谷本丈夫：中国北西部の乾燥地における水の塩類濃度，森林立地，**37**，1，pp.9-18（1995）
- [齊藤 2009] 齊藤昌宏：荒廃地を森へ，シーダー，**1**，pp.14-23（2009）
- [酒井 2003] 酒井裕司：脱硫プロセスからの廃棄物による中国アルカリ土壌改良の研究，東京大学博士論文（2003）
- [治砂造林学 1981] 治砂造林学編委会：治砂造林学，p.323，中国林業出版社，北京（1981）
- [周 1995] 周 舜武 編：中国的沙漠，pp.105，商務印書館，香港（1995）

- [周 2009] 周 建中：世界の沙漠——中国（沙漠の事典，日本沙漠学会編），p.5，丸善（2009）
- [中国地図] <http://www.allchinainfo.com/map/>（2011年2月20日現在）
- [西川ほか 2004] 西川美智子，山寺喜成，宮崎敏孝：保育ブロックを用いた乾燥砂地への木本導入に関する研究，日本緑化工学会誌，**30**，1，pp.328-331（2004）
- [姚 1986a] 姚 洪林：「治砂造林学」と中国砂漠の緑化，緑化工技術，**11**，3，pp.26-29（1986）
- [姚 1986b] 姚 洪林：砂漠の緑化技術について，緑化工技術，**12**，1，pp.29-43（1986）
- [吉川 2009] 吉川 賢：沙漠化の定義，p.11，沙漠の事典，丸善（2009）
- [林野庁 2010] 林野庁：平成21年度 CDM 植林総合推進対策事業実施報告書，p.402，林野庁（2010）
- [林野庁 CDM 植林ヘルプデスク] <http://www.rinya.maff.go.jp/i/kaigai/cdm/index.htm>（2011年2月20日現在）
- [Sakai et al. 2004] Sakai, Y., Matsumoto, S., Sadakata, M.: Alkali soil reclamation with flue gas desulfurization gypsum in China and assessment of metal content in corn grains, *Soil & Sediment Contamination*, **13**, 1, pp.65-80（2004）
- [Sakai et al. 2007] Sakai, Y., Liu, D., Sadakata, M.: Continuity Assessment of Desulfurization Gypsum as an Alkali Soil Amendment in Northeastern China, *J. Ecotechnol. Res.*, **13**, pp.127-131（2007）
- [Tao and Wei 2005] Tao, W., Wei, W.: *China's Environment and the Challenge of Sustainable Development*, M E Sharpe Inc., New York（2005）



— 編著者略歴 —

小島 紀徳 (こじま としのり)

1975年 東京大学工学部化学工学科卒業  
1977年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了 (化学工学専攻)  
1980年 東京大学大学院工学系研究科博士課程単位取得満期退学 (化学工学専攻)  
1980年 日本学術振興会奨励研究員  
1981年 工学博士 (東京大学)  
1981年 東京大学助手  
1987年 東京大学講師  
1987年 成蹊大学講師  
1988年 成蹊大学助教授  
1994年 成蹊大学教授  
現在に至る

江頭 靖幸 (えがしら やすゆき)

1985年 東京大学工学部化学工学科卒業  
1987年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了 (化学工学専攻)  
1990年 東京大学大学院工学系研究科博士課程単位取得退学 (化学工学専攻)  
1990年 東京大学助手  
1995年 博士 (工学) (東京大学)  
1995年 東京大学講師  
1997年 大阪大学助教授  
2007年 大阪大学准教授  
現在に至る

成蹊大学アジア太平洋研究センター叢書

沙漠を森に — 温暖化への処方箋 —

Arid Land Afforestation against Climate Change

© Seikei University Center for Asian and Pacific Studies 2011

2011年3月30日 初版第1刷発行

検印省略

編著者 小 島 紀 徳  
江 頭 靖 幸  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03)3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-06620-3

(安達) (製本: グリーン)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします