

チュニジア北部に広がるマキス林の林分構成と 炭素蓄積量について

豊田貴樹・加藤和久・千葉裕起

1. はじめに

社団法人海外林業コンサルタンツ協会では、平成15年度から平成19年度にかけての5年間、農林水産省林野庁の補助事業として、CDM植林ベースライン調査事業を実施した（調査事業については、「海外の森林と林業」第74号で紹介をしたのでそちらを参照のこと）。この調査事業の一環として、CDM植林の候補地となりうる場所における現存植生の炭素蓄積量を把握するための測定を実施している。プロジェクト設計書（PDD）の作成に必要な情報である、シンクによるベースラインGHG吸収量の事前推計では、プロジェクト毎にベースラインシナリオを構築し、実際にベースラインとしてのGHG吸収量を把握することが求められている。従って類似の植生を調査することによって得られるデフォルト値はベースラインに直接用いることが出来ないが、CDM植林事業の実施者や投資者が、実際に事業を実施するかどうかの判断をする際の基準の一つとして活用することが可能である。本報告ではCDM植林ベースライン調査事業で平成17年度（2005年）に実施した北アフリカのチュニジア北部、地中海に面したビゼルト県一帯に広がるマキス林（後述）においてその林分構成と炭素蓄積量の測定結果を紹介する。

2. 調査対象地とマキス林について

チュニジアは北と東を地中海に面し、西にアルジェリア、南東にリビアと国境を接する北アフリカの国である。ケッペンの気候区分によると、チュニジアの気候は北から南へ大きく3つに分かれ、北部は地中海性気候、中部はステップ気候、南部は砂漠気候となる。春から夏にかけてサハラ砂漠から北方にシロッコと呼ばれる熱風が吹き出し、真夏には気温が50℃近くまで上がるのに対し、北部では冬に雪が降ることもある。チュニジアの首都、チュニスの年平均気温は18.3℃、最暖月は8月（平均気温26.6℃）、最寒月は1月（平均気温11.4℃）、年間降水量は470mmで、6月から8月にかけては殆ど降水がみられない（いずれも1961-1990年の統計）。調査対象地はチュニジアの北部、地中海に面するビゼルト県のアトラス山脈から連なる標高500～600mの丘陵地に位置する。ビゼルト県の県庁所在地であるビゼルトでは1,000mm/年程度の降水がみられる。

この調査対象地で見られる典型的な植生はマキス（Maquis）林及びガリグ（Garrigue）林である（写真1）。マキス林及びガリグ林は地中海沿岸の岩石の多い痩せ地に広く分布する密生した低灌木性の植生で、コルシカ島の代表的な植生として知られている。ユネスコが出版したThe Vegetation of Africa（1983）によれば、マキス林は、樹高が高くても4m程度で、立木密度が極めて高く林の中に入り込みづ



写真 1 調査対象地であるビゼルテ県北部のマキシ林の様子



写真 2 サンプルングプロット (2m×2m) 設定の様子

らく、主な樹種は *Erica arborea* と *Arbutus unedo* によって占められる。一方ガリグ林は、やはり前述の *The Vegetation of Africa* によれば、スペインのカタロニア地方で *Quercus coccifera* を示す名前であるところの garric から由来しており、元来、石灰質土壌に出現する樹高の低い灌木群落を指す。ガリグ林はマキシ林よりも一般的に樹高が低いとされているが、この2つの林分の名称は、現地においてもしばしば混同して使われており、実際には区分することが難しいとしている。本報告では、調査対象地で見られる低灌木林を区分せず、便宜的に一括してマキシ林と呼ぶことにする。

3. 調査の方法

今回マキシ林においてその林分構成と炭素蓄積量を調査するにあたっては、ビゼルテ県の丘陵地に広がるマキシ林から6つの調査地を任意に抽出し、それぞれの調査地において更に3つのプロットを設定して調査を実施した。従って合計プロット数は18プロット設定した。今回の調査ではベースラインGHG吸収量の推計でモニタリングの対象となる地上部バイオマス、地下部バイオマス、落葉落枝、枯死木、及び土壌有機物の5つの炭素プールのうち、土壌有機物以外の4つのプールについて測定を実施した(写真2)。

調査プロットは以下の要領で設定した。

1) 対象となる草地、灌木地の中で、高さ及び密度に関して平均的と見られる箇所を選んで正方形プロットを3つずつ設定する。対象となる草地、灌木地は、そこにおける土地利用の歴史(過去における火災の記録、いつ天然林が失われ、現存の植生状態がどのくらい続いているか等)が分かる場合はこれを記録する。

2) 林縁部あるいは林冠疎開部から2~3mの部分避けて正方形プロットを設定する。プロットの一辺はプロット内の平均灌木高より長くする(平均灌木高が2mの場合プロットの一辺は2m以上とする。今回の場合はどのプロットでも平均灌木高は2m以下であったため、プロットサイズは2m×2mとした)。

3) 同一プロットで、地上部植生バイオマス測定→堆積リター採取→地下部掘上調査の順で行う。

4) GPS、傾斜角、斜面の方角等の基礎データを記録する。またプロットの概観が分かるような写真を撮る。

各プロットの植生の炭素蓄積量推定の詳細な手順は、誌面の関係で、当協会の調査報告書(参考文献)に譲る。ここでは、その概要のみを述べる。炭素蓄積量は、樹木及び草本の地上部と地下部、及び落葉落枝について、それぞれのバイオマスから計算し

表 1 プロット別の出現樹種と本数

	樹種	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13	No. 14	No. 15	No. 16	No. 17	No. 18	合計 (本)
1	<i>Arbutus unedo</i>													5					2	7
2	<i>Calycotome villosa</i>		4			16		1			2					3	1			27
3	<i>Chamaerops humulis</i>								8											8
4	<i>Cistus monspeliensis</i>	11	52	13	22	14	3		2		19				6	4	5	1	1	153
5	<i>Daphne gnidium</i>	4		4	3													30		41
6	<i>Erica arborea</i>							60	90	75		25	50	20		5		6	4	335
7	<i>Lavandula stoechas</i>											3								3
8	<i>Myrthus communis</i>	306						70			44						20	5	4	449
9	<i>Olea europaea</i>						10	7	1			4	10							32
10	<i>Phyllyraea angustifolia</i>	69		5	6	36	39	20		5		17	25	10	22	17	8			279
11	<i>Pistacia lentiscus</i>			11	107	2	3	31				5	14	1						191
12	<i>Quercus coccifera</i>			57		7				16		45		50	48	14	5	27	30	299
13	<i>Quercus suber</i>																	2	1	3
	合計 (本)	390	56	90	138	75	55	189	101	150	21	96	102	86	76	43	76	41	42	1,827

た。地上部植生のバイオマスはプロット全面刈り取り法、地下部のそれはサブプロットの根系掘り取り法により、それぞれの全生重量を測定した。乾燥重量推定は各部位から一部をサンプリングして、実験室にて乾燥後に乾燥重量を測定した。落葉落枝も全面採取して、生・乾重量測定した。これら乾燥重量(バイオマス)に炭素変換係数0.5を乗じて炭素蓄積量とした。

4. 調査結果

4-1 出現樹種とその本数及び形状

調査対象地 18 プロットに出現した樹種数は全部で 13 樹種、最も出現樹種が多かったプロットは No. 16 の 7 樹種、最も出現樹種が少なかったプロットは No. 2 と No. 10 の 2 樹種、平均でも 4.5 樹種の出現が見られた(表 1)。最も出現本数の多かったプロットは No. 1 で、1 プロット当たり 390 本、ha 当たりに換算すると 975,000 本出現した。次いで出現本数の多かったプロットは No. 7 で、189 本/プロット、72,500 本/ha であった。反対に最も出現本数の少なかったプロットは No. 10 で、それぞれ 21 本/プロットと 52,500 本/ha 出現した。次いで出現本数の少ないプロットは No. 17 で、それぞれ 41 本/プロット、

表 2 出現した 13 樹種の平均根元直径と樹高

樹種	根元直径 (cm)	樹高 (m)
1 <i>Arbutus unedo</i>	0.9	0.7
2 <i>Calycotome villosa</i>	0.7	0.2
3 <i>Chamaerops humulis</i>	0.6	0.4
4 <i>Cistus monspeliensis</i>	0.7	0.5
5 <i>Daphne gnidium</i>	0.5	0.5
6 <i>Erica arborea</i>	0.4	0.3
7 <i>Lavandula stoechas</i>	0.3	0.3
8 <i>Myrthus communis</i>	0.7	0.4
9 <i>Olea europaea</i>	1.2	0.8
10 <i>Phyllyraea angustifolia</i>	0.8	0.5
11 <i>Pistacia lentiscus</i>	0.5	0.3
12 <i>Quercus coccifera</i>	0.5	0.3
13 <i>Quercus suber</i>	3.6	1.7
平均値	0.9	0.5
<i>Quercus suber</i> を除く平均値	0.7	0.4

102,500 本/ha であった。プロット No. 1 において出現本数が多くなった理由は、*Myrthus communis* がプロット内に 306 本とまとまって出現したため、プロット No. 1 を除いた各プロットの平均出現本数は 85 本、ha 当たりに換算すると 212,500 本で

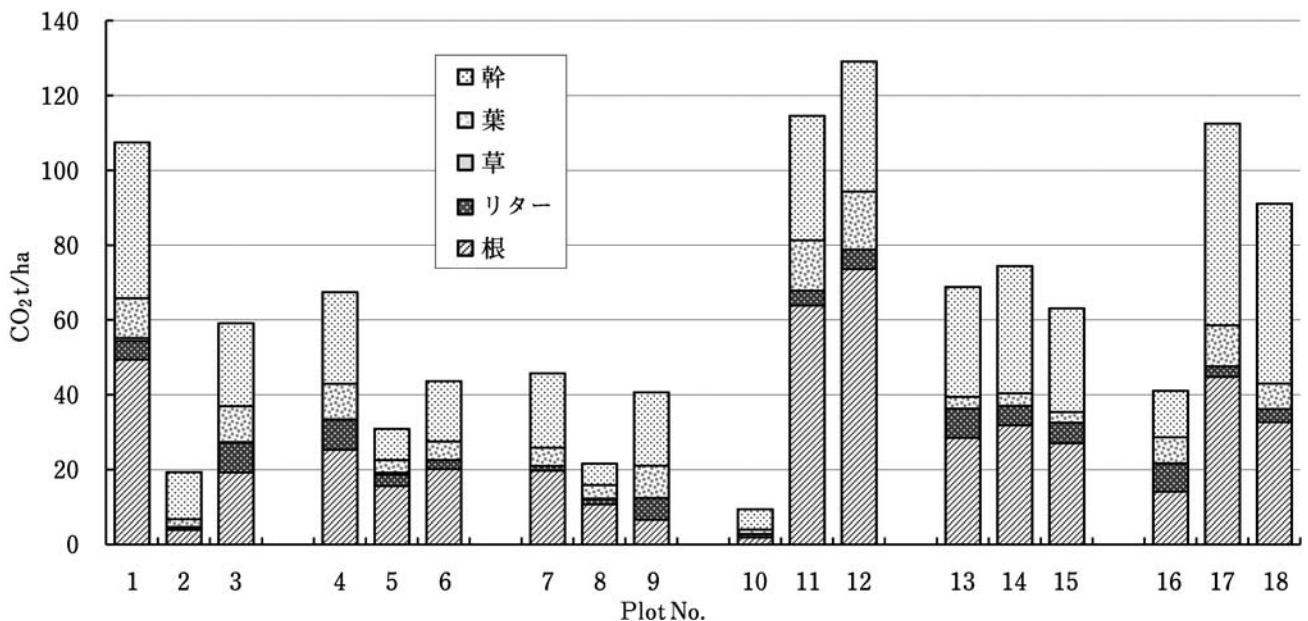


図 1 各プロットの部別 CO₂ 固定量. 平均固定量=60.9 CO₂ t/ha

あった。各樹種の出現本数を調査対象地全体で見ると、最も多く出現した樹種は *Myrthus communis* で 18 プロットの合計で 449 本 (但しプロット No. 1 を除くと 143 本), 次いで *Erica arborea* の 335 本, *Quercus coccifera* の 299 本が多かった。反対に出現数の少なかった樹種は, *Lavandula stoechas* と *Quercus suber* (コルクガシ) の 3 本ずつであった。

出現した各 13 樹種の平均根元直径と平均樹高を表 2 に示す。平均根元直径, 平均樹高共に最も大きかった樹種は *Q. suber* で, 平均根元直径が 3.6 cm, 平均樹高が 1.7 m であった。次いで大きい樹種は *Olea europaea* で, 平均根元直径が 1.2 cm, 平均樹高が 0.8 m であった。*Q. suber* と *O. europaea* 以外の 11 樹種の平均根元直径は全て 1 cm 以下であり, *Q. suber* 以外の 12 樹種の平均樹高は 1 m 以下であった。

以上の結果から, 調査対象地のマキス林は幾つかの樹種によって構成された樹高がほぼ 1 m 以下の密度の高い (212,500 本/ha) 林分であることが示された。いろいろな樹種が灌木状に密生して出現するのは地中海沿岸に広がるマキス林の特徴であり, こ

のビゼルテ県の調査対象地においても同様な林分構成が確認できたといえる。ちなみにマキス林の「Maquis」は, フランス語で第二次大戦中のフランスのレジスタンス活動のことを示す言葉でもある。コルシカ島のマキス林が密生して活動家の身を隠すのに都合が良かったことから, 身を隠す行為=レジスタンスと繋がり, レジスタンス活動を示す語源となったと言われている。しかしビゼルテ県のマキス林は, 密度こそ高いものの樹高は人の背丈の 1/3 ほどしかなく, 人間が身を隠すにはだいぶ小さいようである。

4-2 炭素蓄積量

各プロットにおいて計測したバイオマスの乾燥重量から算出した炭素蓄積量について図 1 に示す。全プロットの平均炭素蓄積量は 60.9 CO₂ t/ha となった。最も固定量が大きかったプロットは No. 12 の 129.1 CO₂ t/ha, また最も少ないプロットは No. 10 の 9.4 CO₂ t/ha であった。これらの炭素蓄積量を 2003 年に (社)海外林業コンサルタント協会が CDM 植林ベースライン調査で, ベトナムにおいて実施した炭素蓄積量調査の結果と比較すると, ベトナムにお

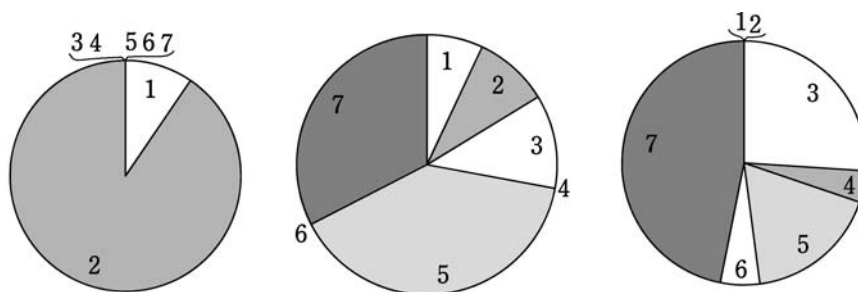


図 2 山火事発生年と植生回復状態 (左図: 1995 年プロット No. 10, 中図: 1978 年プロット 15, 右図: 1938 年プロット 11)

植生種, 1: *Calycotome villosa*, 2: *Cistus monspeliensis*, 3: *Erica aborea*, 4: *Olea europaea*, 5: *Phylliraea angustifolia*, 6: *Pistacia lentiscus*, 7: *Quercus coccifera*

ける灌木地の炭素蓄積量の平均値は、樹高が 2 m 以下の灌木地で 41.7 CO₂ t/ha、樹高が 2 m 以上の灌木地で 52.8 CO₂ t/ha であったことから、チュニジア北部のマキス林ではベトナムと同程度かやや大きな値が示された。気温、降水量が植物の生育に適したベトナムに匹敵する蓄積量が見られたことから、マキス林の炭素蓄積量が高いことが明らかになった。4-1 でも記述したように、マキス林では小灌木が密に繁茂している状態が見られることから、このような密度の高い林分構成が炭素蓄積量の高さとなって現れたものと考えられた。草、幹、葉、根、リター別の炭素蓄積量の割合を順に示すと、①根系 (26.08 CO₂ t/ha)、②幹 (24.07 CO₂ t/ha)、③葉 (6.48 CO₂ t/ha)、④リター (4.20 CO₂ t/ha)、⑤草 (0.10 CO₂ t/ha) であった。最も炭素蓄積量の割合の高かった根系は全体の約 43%、次に割合の高かった幹は約 40% を占めており、これら根系と幹の 2 つの部位で全体の炭素蓄積量の約 83% を占めていた。また、マキス林では草の割合が極端に小さかった (0.10 CO₂ t/ha, 0.16%) が、これはサンプリングの時期がチュニジアの乾季にあたり、ちょうど草が落枯れている時期に当たってしまったことが大きく影響しているものと考えられた。

4-3 出現樹種と山火事の関係

マキス林は、夏季の強く乾燥する時期に山火事が多く発生するという。山火事の原因は放牧中の牧夫のタバコや炊事の不始末などとされている。本

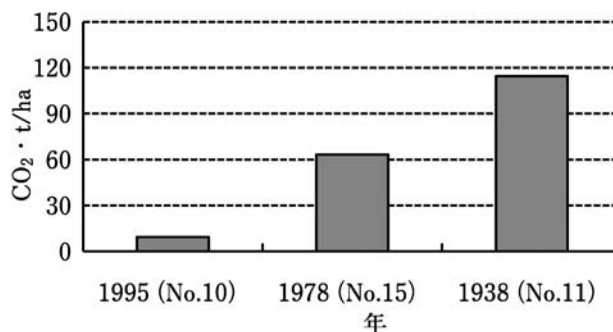


図 3 各プロットにおける山火事発生年と炭素固定量の関係

調査対象地内においても過去に山火事が発生し、地元住民への聞き取りによって山火事の発生時期が明らかになっているプロットがいくつかある。住民の話によれば、プロット No. 10 は 1995 年に、No. 11, No. 12 は 1938 年に、No. 13, No. 14 及び No. 15 は 1978 年に、それぞれ山火事が発生した場所とされている。図 2 にプロット No. 10, No. 11 及び No. 15 での出現樹種の割合を示す。10 年前に山火事が発生した No. 10 では、*Cistus monspeliensis* の出現割合が 90% であり、かつ出現樹種数も 2 樹種のみであった。今回現場でこのバイオマス調査を担当、指揮したチュニジア国農業省環境水資源森林局のマジット氏によれば、*C. monspeliensis* はマキス林における山火事の指標植生であり、山火事跡地に典型的に出現する樹種とのことであった。このことからすると

山火事の発生履歴は明らかではないが、やはり *C. monspeliensis* の出現割合が高かったプロット No. 2 も近年山火事被害に遭った場所なのではないかと推測ができる。また、この2つのプロットは他のプロットと比較して炭素蓄積量も少ないため（プロット No. 10 は $9.4 \text{ CO}_2 \text{ t/ha}$ 、プロット No. 2 は $19.4 \text{ CO}_2 \text{ t/ha}$ ）、これにも山火事が影響したものと考えられる。次に、火事の発生から27年が経過したプロット No. 15 では、*C. monspeliensis* の出現割合は5%程度であった。かわりに *Quercus coccifera*, *Phyllyraea angustifolia*, *Erica arborea* 等の樹種の出現がみられた。山火事発生後67年が経過したとされるプロット No. 11 では *C. monspeliensis* の出現はみられなくなり、*Q. coccifera*, *E. arborea* などの出現割合が高まっている状態が確認された。これらのことから、山火事発生後すぐに出現割合の高かった *C. monspeliensis* は山火事発生から約30年後にはその出現割合が低まり、約70年後には他の樹種に取って代わられるという遷移の状態が確認された。

図3に図2と同じ3つのプロットにおける山火事発生後の経年変化との炭素蓄積量の関係について示す。山火事発生から10年しか経過していないプロット No. 10 の炭素蓄積量は $9.4 \text{ CO}_2 \text{ t/ha}$ であったのに対して、山火事の発生から27年が経過したプロット No. 15 の炭素蓄積量は $63.2 \text{ CO}_2 \text{ t/ha}$ にまで回復をしていた。更に山火事発生から67年が経過したプロット No. 11 では炭素蓄積量は $114.6 \text{ CO}_2 \text{ t/ha}$ にまで蓄積されていた。4-2の項で述べたように、山火事履歴は定かでないものの最も炭素蓄積量の大きかったプロット No. 12 で $129.1 \text{ CO}_2 \text{ t/ha}$ であったことから、山火事発生後おおよそ70年ほど経過すれば、現状見られる密に繁茂したマキス林にまで回復する可能性があるものと推定された。

5. おわりに

平成17年度にチュニジア北部、地中海に面したビゼルト県一帯に広がるマキス林を調査し、その林分構成と炭素蓄積量の関係を示した。この調査で、マキス林における出現樹種や本数及び形状等のプロフィール、炭素蓄積量、出現樹種と山火事の関係及び山火事からの回復について、情報を得ることが出来た。調査自体は短期間に実施されたものであり、また調査プロット数も少ないため、必ずしも統計的に足るものではなかったが、当時このCDM植林ベースライン調査事業の委員会の座長を務めておられた早稲田大学人間科学部の森川靖教授から、「マキス林のことを調査した事例は少ないと思うので、貴重なデータだから何かの形でまとめておくように」とのお言葉を頂き、調査後随分と時間は経ってしまったが、今回浅慮を省みずまとめてみた次第である。また、我々が調査を実施した2005年当時、チュニジア国農業省環境水資源森林局ではチュニジア北部のマキス林をCDM植林の適地として考えていた。現在でもチュニジア側が同じような方針を持っているとすれば、この調査結果を現地でのCDM植林実施に活用することも可能と考えるところである。

〔参考文献〕 (社)海外林業コンサルタント協会 (2005) 「平成17年度CDM植林ベースライン調査事業報告書」
Unesco (1983) 「The Vegetation of Africa」 Ministry of Agriculture, The Environment and Water Resources, Republic of Tunisia (2002) 「National Report The State of the Environment 2002」 Ministry of Agriculture, The Environment and Water Resources, Republic of Tunisia (2003) 「National Report The State of the Environment 2003」