

チリの森林と林業

(4) 乾燥地、半乾燥地の森林と緑化造林

齊藤昌宏

1. はじめに

前報(齊藤 1998 b, d)ではチリ南部の森林が多い地域について報告した。チリは細長い国土を持ち、地域によって気候や森林は非常に異なっている。そのため、できる限り広い範囲を調査したいと考え、今回のチリ調査計画を作成した。しかし、現地に到着してから、どこを調査するかについて話をすると前半の調査(南部)に関しては非常に良いところを選んだと賛同されたが、北部乾燥地の調査については、砂漠で何も無いところで何を調査するのかという疑問が一般的であった。森林率を見ても、第Iから第III州は1%以下、第IV州と首都州で1.5%に過ぎない(INFOR 1996)。本シリーズの最終回として、森林がほとんど無いとされる乾燥・半乾燥地域の森林と造林例を紹介する。

本調査は国際農林水産業研究センターの「地域別農業の特性解明(南半球寒冷地における林業の特性)」により行ったもので、平成8年11月11日~12月9日にチリを訪問した。チリ北部の調査にあたっては国際協力事業団個別派遣専門家(当時)の飯干好徳氏に大変お世話になった。また、中部については日本・チリ半乾燥地治山緑化計画プロジェクトを主な訪問地とし、プロジェクトリーダーの小宮忠義氏をはじめ、長期専門家の方々に多大な情報を頂いた。記して感謝の意を表す。

2. アタカマ砂漠の植生と造林

1) San Pedro de Atacama まで

筆者がチリの砂漠に興味を抱いたのは1995年の春先であった。チリで行わ

れている JICA プロジェクトのカウンターパートを、小生が関わっていた科技厅のプロジェクトで開催された中国タクラマカン砂漠のシンポジウムに案内した際のことである。彼ら関わっているプロジェクト現場は半乾燥地だが、チリには 10 年に 1 度しか雨が降らないアタカマ砂漠があると自慢げ(?)に話をされた。タクラマカン砂漠も厳しいところでは年降水量が 30 mm 前後だが、周囲を高大な山岳地に囲まれており、融雪水および氷河からの水供給量が大きな割合を占めている(齊藤・谷本 1995, 齊藤 1998 c)。このため部分的にしる森林もあり、オアシスも発達しているのだが、日本人にとっては極端な乾燥地であることは間違いない(齊藤・谷本, 1994)。それよりも乾燥していると植生はどのようなのであろうか。森林は存在可能なのか。住民の生活は。まさに好奇心が原動力の旅であった。

第Ⅱ州の、アタカマ砂漠の中央付近に San Pedro de Atacama という小さな町がある。砂漠の観光を売り物にしている町で、他には外国人が泊まれるホテルのある町は無いという。この調査は往復も含めて 5 日間の一人旅なので、無難なところであろう。レンタカーも無いとのことで、調査の足をどう確保するか答えは無いがとにかく行くことにする。Antofagasta 経由で、空路 Calama へ飛ぶ。Antofagasta は第Ⅱ州中部の海岸に位置するが周りに植生らしきものは無い(写真 1)。Calama への移動中も窓から下の光景を眺めるが、まさに岩山の連続で草木は一本も生えていない(写真 2)。Calama に近づいて、やっと大きな谷に緑が点在しホッとした。それにしても、チリ南部の森林地帯との違いには呆然とする。Calama は 22.5°S, 海拔高 2,300 m に位置し、世界一の銅産出量を誇る Chuquicamata 鉱山で栄える町である。通りにはコショウボク (*Schinus molle*) や *Prosopis* の並木があるがとにかく暑い。11 時に測定したところ気温は 42°C, 湿度は 0% であった。

Calama から San Pedro de Atacama まではバスで移動した。車窓から眺める光景も岩山と礫斜面の連続だが、よく見るとワジ(雨季にのみ水が流れる沢, 川, 谷など)とその周辺には疎らに草が生えている(写真 3)。バスは“Dame Agua (泉の貴婦人)”で



写真 1 第Ⅱ州の州都 Antofagasta の周辺海岸部にも植生は見あたらない。

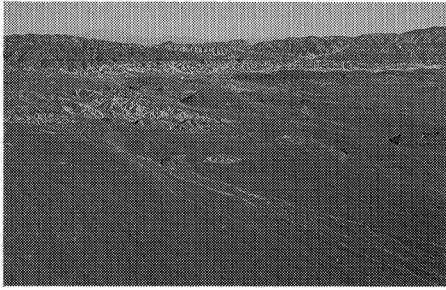


写真 2 Antofagasta から Calama への途中
海岸付近の低い山も岩肌のみ。

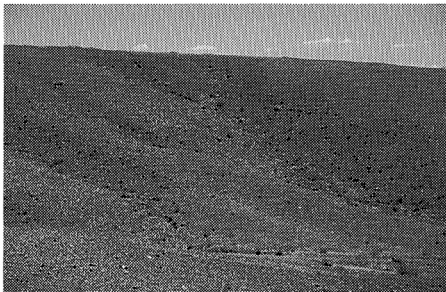


写真 3 Calama から San Pedro de Atacama
への途中：場所によっては、沢筋に植
物が散生する。

一時停止、運転手は祈りを捧げている。灰褐色の礫砂漠を縦断するアスファルト道路の傍らに、ぼつんと取り残された小さな緑が“Dame Agua”（写真4）である。CalamaとSan Pedro de Atacama間の道のりの中央付近に位置し、自動車による交通が発達する前は小さいが重要な泉であったと思われる。現在は泉としての役割は終わり、極く小さなオアシスとなって旅人の目を慰めている。

約90 kmの道のりを2時間かかってSan Pedro de Atacamaに到着した。約23° S、海拔高は2,436 mで、アンデス山脈の裾野に位置する。早速、ホテルの近くの観光案内に行き、周辺をマイクロバスで廻る3コース（これですべて）を予約する。町の周辺を調査するため、レンタルサイクルも

確保する。21時14分の測定では気温19.7°C、湿度18%、翌朝6時40分では11.7°C、27%であった。内陸の乾燥地であるため、気温の日較差が非常に大きい。

2) San Pedro de Atacama とその周辺

San Pedro de Atacamaはアンデス山麓に形成されたペジメントの下部に位置する。扇状地およびペジメントの下端は地下水位が浅く、ときには湧水地もあるため集落が形成される。しかし中国の砂漠地帯と比較すると、ペジメントの大きさに比べ、オアシスは小さい。町の郊外に*Prosopis tamarugo*の造林地がある（写真5）。2つの町しか見ていないが、どうやら町中の街路樹はコショウボク、郊外の造林地は*Prosopis*という樹種選択がなされているらしい。どちらも中南米原産の樹種で、耐乾性は大きい（斉藤1996, 1997）。

第Ⅱ州の森林率は0.02%でチリ各州で最も低い。その内訳は天然林が約

2,000 ha, 人工林はユーカリが 1 ha, その他が 577 ha となっている (INFOR 1996)。前報 (斉藤 1998 a) の表 2 を参照。San Pedro de Atacama の周辺には割合大きな tamarugo の造林地が幾つか見られることから, その他の樹種の造林地は多くが本樹種あるいは同属の *P. chilensis* などを植栽しているものと考えられる。町から数 km 離れた tamarugo の造林地を観察する。胸高直径は 25~35 cm で, 樹高は平均 10 m と低い。現在の樹木間隔は 10×10 m 程度であるが, これが最初からのものなのか間伐によるものなのかはわからない。背が低く, 間隔が広いので, 林冠は閉鎖していない。下層植生はアカザ属 (*Chenopodium*) の一種が散在する程度で, それらもほとんどが枯れかかっているため, 林床は裸地

状態になっている。この林分および隣接している荒れた草地で温湿度と土壌の調査を行った。草地の植生は *Chenopodium* の一種が平均高 0.8 m, 植被率 30%, アキノキリンソウ属 (*Solidago*) の一種が平均高 0.5 m, 被度+で, やはり裸地になっている部分が多い。土壌はともにかなり細かく, シルトおよび粘土で構成されているが, 非常に硬い。根掘りしかないため, 草地では深さ 15 cm, 造林地では 5 cm 掘るのが限界であった。電気伝導度 (EC), pH および NaCl 含有量の測定結果を表 1 に示す。土壌のサンプルは蒸留水を加え, 容積で 3 倍の溶液をつくり, 攪拌後の上澄み液を用いて測定した。造林地では pH が高く, 草地では EC および NaCl 含有量が高かった。土壌の違いが植生の取り扱いに影響を与えているのか, 逆に植生の違いが土壌の塩類濃度に影響を与えたのかは非常に興味深い。今後もデータを集めて, 議論する必要がある。

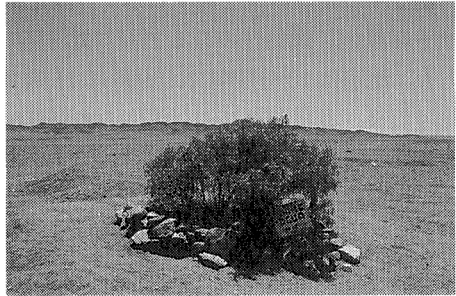


写真 4 Dame Agua

茫洋とした砂漠の中で, どのように水脈を見つけだしたのであろうか。

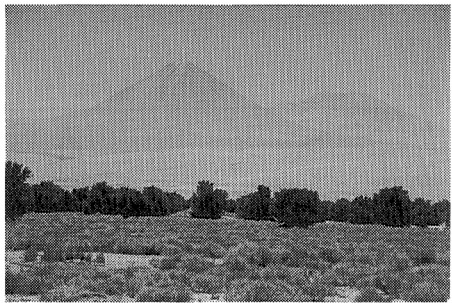


写真 5 San Pedro de Atacama 郊外の tamarugo 造林地

温湿度の測定結果を図1に示す。測定は小型のデータロガー付き温湿度センサーを用い、通気性のあるアルミ製円筒の中に入れ、地上高1.5m付近に設置した。測定は10分間隔で、1996年11月28日から29日にかけて行った。図には設置後、温度および相対湿度の測定値が安定した午後3時より翌日の同時刻までの24時間の日変化を示した。なお、相対湿度の値は温度の影響を受けるため、大気中の水分量として水蒸気圧を計算し、図中に示してある。両植生内ではおおよそ同じ日変化を示しているが、tamarugo 造林地では最高温度が3℃ほど高くなっている。これに伴い、相対湿度は草地よりも低い値で推移する。両植生間における最も大きな違いは、明け方の5時から9時半頃までの間に tamarugo 造林地で起きた相対湿度の断続的な上昇である。この現象は温度変化と相関していないことから大気中の水分が増加したものと考えてよい。温度および相対湿度から計算した水蒸気圧も図内下部の曲線に見られるような変化を示している。同様に計算した草地における水蒸気圧は2hPa前後で推移し、顕著な増大期間は認められない。造林地では5時から9時半頃までの増大期があり、9時頃に3hPaと最大値が見られる。他の時間帯ではほぼ0.5hPaと草地よりも低い値で推移している。この増大期は tamarugo の蒸散に起因するものであろう。草地においても子細に眺めると、水蒸気圧の変化は1~3時および9~12時付近に緩やかに低い山が認められる。後者については草本の蒸散に由来すると考えられるが、前者の原因はわか

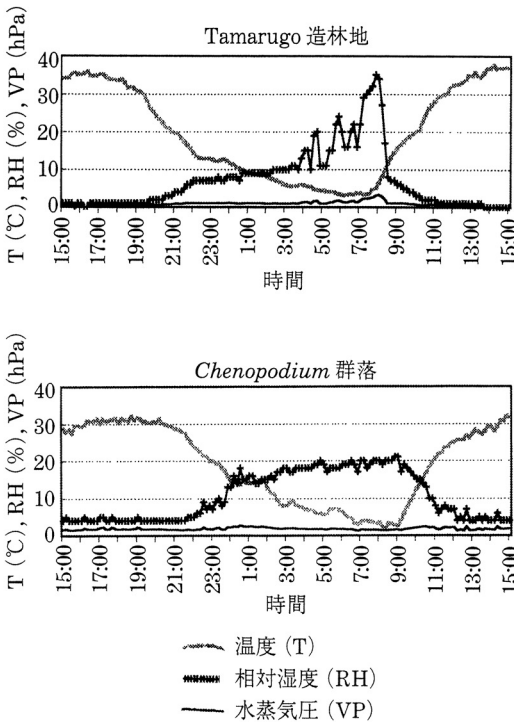


図1 2つの植生内における温湿度の日変化（アタカマ砂漠）

らない。

写真6はアンデス山麓の海拔高2,520mで撮影した。最初は gallery forest (渓谷林) と思ったが、よく見ると小さなオアシスであった。細長い樹冠は *Populus nigra* で、その他に tamarugo, *Salix chilensis* などが植栽されている。後二者はもともと生えていたものか、植栽されたものなのかはよくわからない。林冠下には数軒の家と菜園などが配置されており、ギョリュウ属 (*Tamarix*)、グミ属 (*Elaeagnus*) などの導入種も植えられている。ただし、住人は見あたらず、ガイドもスペイン語の説明なので成り立ちや詳細はわからない。中央を流れる小川とオアシス内の土壌サンプルの EC, pH, NaCl 含有量の測定値を表1に掲げた。数箇所における水と土壌のサンプル中では EC, NaCl 含有量とも最も低い値を示した。

海拔高が3,000mを超えるあたりから、斜面には徐々に植生が現れ、マオウ属 (*Ephedra*) やクコに似た *Lycopersicon*、キク科の *Baccharis* と *Senecio*、アカザ科の *Atriplex*、背の低いサボテンなどが散生する。海拔高が増加するに従って植被率も増大する3,800mあたりでイネ科を主とする草原に変わる。これがプーナと呼ばれるイネ科草原で GAJARDO (1993) によれば766万haに及ぶ面積を持っている(写真7)。海拔高約4,150mにある Laguna Misconty (ミスコンティ湖) の湖水と周辺の土壌の EC などの測定結果(表1)は、この湖もかなり塩類集積が起きていることを示している。浅いすり鉢型の地形の底にたまった大きな水たまりのような湖で、はっきりした流入、流出河川はない。冬季の積雪量は明らかではないが、春先の融雪期に周囲の斜面が集水域となり、溢れた水は流出するにしても、以後は蒸発のみで減水し、塩類濃度が高まるのであろう。周辺の土壌も表面の塩類濃度が極端に高く、乾燥地特有の傾向を示している。写真7は Salar de Agua Caliente (訳せば「温かい水の塩湖」、すなわち「温泉が湧き出している塩湖」) の景観を示す。湖水周辺の低地は真っ白に塩類が集積しており、それより上部の斜面にプーナ草原が広がっている。

Laguna Tujaito は海拔高3,950mに位置する。岸边には水生植物群落が茂り、フラミンゴ

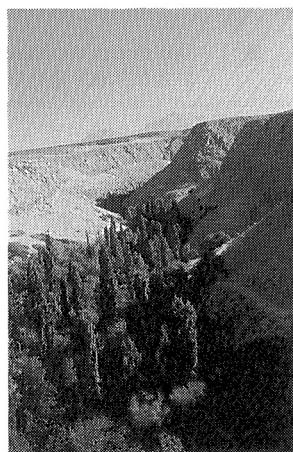


写真6 小さな谷間に形成されたオアシス

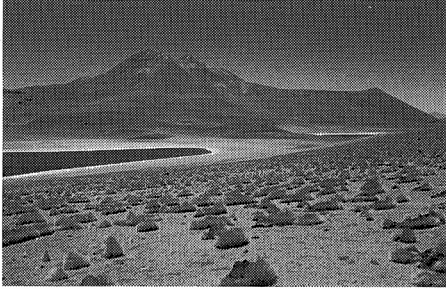


写真 7 Salar de Agua Caliente
 海拔高 4,200 m, アルゼンチンとの国境まで約 30 km の地点に位置する。

も生息している。この湖水の EC は 1.08 mS/cm であり、この程度の塩類濃度であれば生物も生息が可能である (斉藤・谷本 1994)。塩湖として最も大きいのは Salar de Atacama である。東西約 45 km, 南北約 90 km の矢尻形をしたこの塩湖は結晶化した塩が堆積し、中央部のみに湖水が存在する。もちろん、湖水は過飽和の塩溶液となっている (表 1)。

間欠泉で有名な Geisers de Tatio と Calama の中間あたりにある Caspana は海拔高 3,250 m 前後でインディオの集落がある (写真 8)。やはり小さな川の流れる谷間に位置し、そこだけが緑のオアシスとなっている。背の高い木は植栽された *Populus nigra*, *Cupressus macrocarpa*, コショウボクなどで、果樹としてはアプリコット、作物はトウモロコシ、ジャガイモ、ネギなどが作られている。

Calama から Antofagasta を経由してサンチャゴへの帰途、2 時間 20 分の空の旅であったが、この間ずっと窓の外を眺めていた。Antofagasta までは往路で見たとおりに、岩肌ばかりであった。しかし、Antofagasta を飛び立って

表 1 San Pedro de Atacama とその周辺の水および土壌の電気伝導度 (EC), pH および NaCl 含有量

	EC (mS/cm)	pH	NaCl (%)
ホテルの水道水 (San Pedro de Atacama)	2.50	8.2	0.1
谷間オアシス中の小川の水 (海拔高 2,520 m)	0.33	8.2	0.1
湖水 (Laguna Misconty 海拔高: 4,150 m)	6.96	8.6	0.33
湖水 (Laguna Tujaito 海拔高: 3,950 m)	1.08	8.5	0.3
湖水 (Salar de Atacama 海拔高: 2,350 m)	>19.9	6.6	>10
Tamarugo 植林地 (深さ 5 cm)	3.65	7.8	0.09
<i>Chenopodium</i> 草地 (深さ 15 cm)	9.91	7.3	0.30
谷間オアシスの土	0.09	8.3	0.0
Laguna Misconty 周辺の土 (表層)	4.84	8.1	0.2
” (深さ 10 cm)	0.17	8.9	0.0
” (深さ 20 cm)	0.11	9.0	0.0

しばらくすると、深く、短い谷には点在する緑の植生が認められた。もちろん非常に疎らで薄いものではあるが。さらに南下するに従い、広い大きな谷にも植生が現れ、斜面下部、上部と植生が広がってゆく。さらにその植生がだんだんと濃くなってゆく。この変化は新鮮な驚きであった。もちろん、「降水量—蒸発量」の変化に

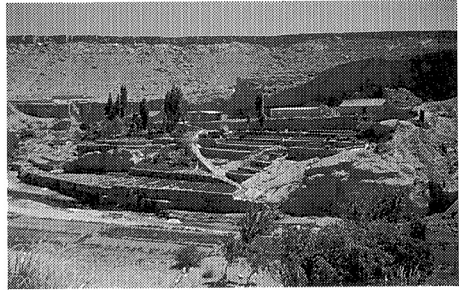


写真 8 Caspana にあるインディオの集落

従った植物の適応結果である。ほとんどが砂漠となっている第Ⅱ州であるが、INFOR (1996) の資料によれば天然林が 2,000 ha 計上されている。アタカマ砂漠には天然林が成立する立地条件の場所は見あたらない。第Ⅱ州、第Ⅲ州に分布する天然林はこのような疎灌木群落なのであろう。

3. サンチャゴ周辺の森林

首都サンチャゴの北部には Cerro San Cristobal と呼ばれる海拔高 866 m の丘がある。下から見上げると緑が美しい公園となっている。斜面に植栽されている樹種は *Cupressus macrocarpa* あるいは *C. arizonica* が多い。写真 9 がその光景である。周りの山と比較すれば樹木の生育の違いが歴然としている。実は撒水を行って、樹木を維持しているのである。画面中央よりやや下に見える白い筋が放水されている水である。首都の中の公園とはいえ、「ここまで努力を払わなければ半乾燥地では森林を維持することができない」という現実と、「貴重な森林を維持するためにはそこまでののか」という実感が縋い交ぜに湧く。同様の光景はサンチャゴ市内で再び見ることができ、そこでは斜面緑化のために撒水を行っていた。

サンチャゴ周辺では JICA による半乾燥地治山緑化プロジェクトが San Pedro, Yerba Loca, Illapel の 3 箇所をメインサイトとして行われている。これら 3 箇所を小宮リーダーに案内して頂き、多くの情報を得た。このプロジェクトの途中経過に関しては小宮リーダーの報告 (小宮 1993) があり、また、近々最終報告書が刊行されるはこびとなっているため、本稿の限られた誌面では紹介しない。ここでは、道すがら興味を持った森林を紹介することにする。

サンチャゴの南西約 90 km に位置する、主要なプロジェクトサイトである

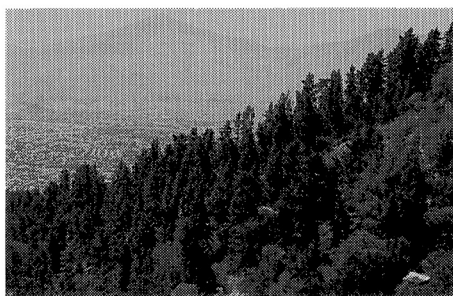


写真 9 クリストバルの丘と周辺の山肌
撒水が森林を維持している。

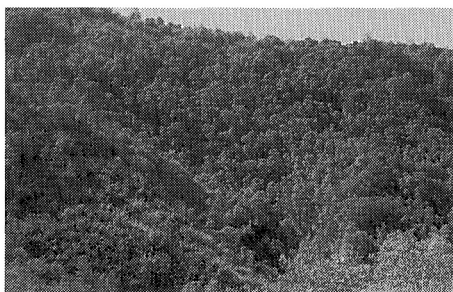


写真 10 サンチャゴ周辺で最も発達した天然
林

San Pedro を訪問した際に、リーダーにお願いしてわざわざ案内して頂いた森林が写真 10 である。すなわち、この森林がサンチャゴ周辺で最も発達し、保全状態の良い天然林と考えてよい。構成樹種などから推測して、INFOR の区分による硬葉樹林 (Bosque esclerofilo) にあたる。主な構成樹種は *Quillaja saponaria* (バラ科), *Acacia caven*, *Peumus boldus* (モニミア科), *Lithraea caustica* (ウルシ科) などで、この森林タイプは第IV州から第VIII州に渡って広がっているという (INFOR 1996)。しかし、現実にはほとんど残っておらず、見た限りにおいては、写真に収めた範囲が唯一の林分であった。同じ斜面の続きは荒れた森林となっており、写真 11 のような状態で、元の

森林の面影は微かに残されているのみである。この程度の林分でも珍しく、普通に見られる森林は疎らに生えたアカシア (*A. caven*) のみで構成される二次林であった。わりあい密度が高いアカシア二次林も散見されるが、一般には写真 12 に示した密度の低い二次林が多い。まさに灌木サバンナの景観を呈していた。さらに土壌が流出し、乾燥化するとアカシアに替わって柱サボテンが主要構成種となり、背の低い灌木が混じる植生となる (写真 13)。植生衰退の終着先と考えられるものが、写真 14 に示した、疎らに草本が生育しているのみの荒原植生なのであろう。

このようなサボテン植生や荒原様植生はサンチャゴより北にはかなりの面積を持って広がっている。一方、チリ南部からの帰途、第VI州および第V州の道路脇に広がっている植生はアカシアの疎林であった。気候の乾燥度と植生の過利用、この二つの主要因の兼ね合わせによって、写真 11 から 14 に紹介した植

生に衰退してしまうのであろう。逆に考えれば、これらの地域において森林を回復させるには気候条件、土壌流亡の程度などを把握し、衰退とは逆の過程を辿らせるように育林していかねばならない。残された最も良い森林（写真10）こそ、半乾燥地における環境造林の目標であろう。プロジェクトで試行している半乾燥地造林の各種技術の実際とその成果を見学したことは大変参考になったが、同時に、原植生にかなり近いものと判断される森林と様々な状態に衰退した植生を比較観察できたこともまた大きな収穫であった。

4. 乾燥地の中の森林

第IV州に位置する Illapel のプロジェクトサイトを案内して頂いたときに撮影したものが写真15である。小さな枝尾根の一つ一つがそれぞれ、斜面の向きによって植生の濃さが異なる。中国の森林に関する文献を読んでいると北斜面と南斜面の違いがくどいほどに記述されている。中国北部の山地を実際に観察する機会を得て、なるほどこれが大陸の森林分布なのかと妙に納得したが、乾燥地・半乾燥地においては小さな尾根であっても斜面の向きによって植生が明瞭に異なる（齊藤1998c）。植物にとって生育限界に近い乾燥地においては、斜面方向の違いによる日射量の多寡は蒸発散量に直接影響し、土壌が薄く、保水力が乏しいことから、植物の生育に大き

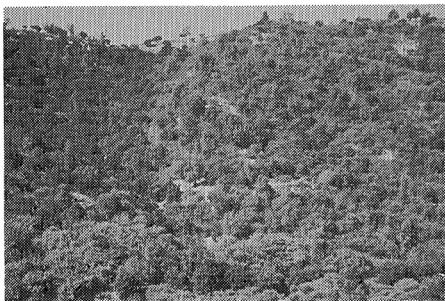


写真 11 やや衰退した森林

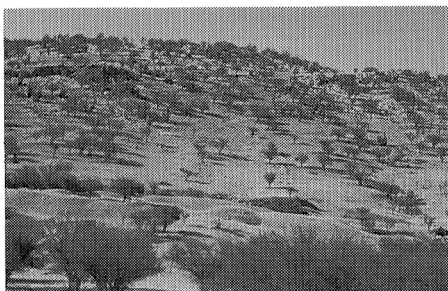


写真 12 まるで灌木サバンナのようなアカシア二次林

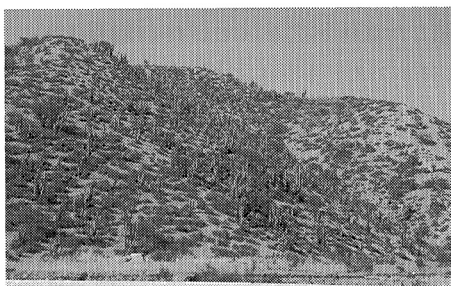


写真 13 サボテンと低灌木で構成された植生



写真 14 植生衰退の終着駅
疎らに草本が生えている。これ以上
衰退すれば裸地となるばかりである。

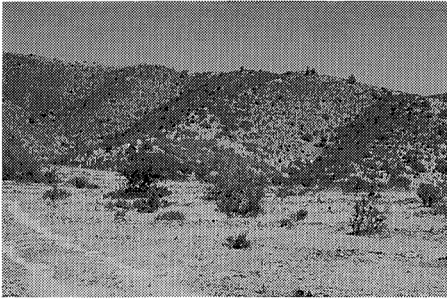


写真 15 第IV州の植生
Illapel の小さな尾根に成立している
低灌木群落。

な影響を与えていることは確かである。そしてこのような植生が Antofagasta からサンチャゴへの帰途、飛行機の中から見えた疎らな灌木群落であった。前報(齊藤 1998 a)で紹介した、FAO と INFOR の土地利用に関する統計数値の違いもまた、このような疎らな灌木群落を非生産地と区分するか生産力のある森林と見るかに起因するのであろう。前者の統計によれば、チリの国土利用は耕地が 5.6%，牧場が 18.0%，森林が 21.8%，非生産地が 53.5% であるのに対し、後者では耕地 7.3%，牧場 10.8%，森林 44.6%，非生産地 37.3% であった。

第IV州の南部，第V州との州境に近い海岸，32°S 付近に位置する海拔高 700 m ほどの小さな山が Pichidangui である。海岸側から見た山の斜面を写真 16 に示す。ほとんど草原で，谷間にのみ低い

灌木の群落が分布している。海岸沿いにある山地ではあるが，チリ中部の一般的な山地と類似の景観をなしている。しかし，山の裏側には背はやや低い閉鎖した森林が広がっていた(写真 17)。構成種は主に *Aextoxicon punctatum* (アエクストキシコン科) で胸高直径は 20~30 cm，樹高は約 16 m ほど，久しぶりに見たまっとうな森林である。この山の横にある広い谷に海から入った湿った風が，廻り込んで山の裏側を上昇するときに雲ができ，水分が供給されている。写真 16 に映っている山頂部の雲，写真 17 の森林に懸かっている雲，これが森林を育む水分の源であった。林内に入って観察すると，木々の根元が濡れている。林縁部の低い木を見ると葉も濡れている。葉に凝縮した水分が小枝を伝い幹に集まり，それぞれの木の根元にしみ込む。まさに教科書通りの自

然の営みである。

5. おわりに

太平洋を挟んで向きあっている日本とチリではあるが、訪問するにはどのような経路を使っても、30時間以上かかる。林産物、鉱産物、農産物、水産物など多くの産物を輸出しており、高大なアンデス山脈に沿い、日本と同様に火山や地震の多い国、その程度の認識で訪れたチリではあるが、森林・林業を幅広く観察すると新鮮な発見と驚き（culture shockならぬ nature shock）の連続であった。本シリーズをお読み頂いた読者の方々に、このような雰囲気が伝われば、筆者としては望外の喜びである。

最後に、国際農林水産業研究センター林業部長（当時）の大角泰夫氏、JICA 個別派遣専門家（当時）の飯干好徳氏、半乾燥地治山緑化計画リーダー（当時）の小宮忠義氏をはじめ長期派遣専門家の方々、INFOR の P.G. DIAZ 氏に御礼を申し上げて筆を置く。

〔引用文献〕 GAJARDO, R. (1993) La vegetación natural de Chile. 165 pp., Editorial Universitaria INFOR (1996) El sector forestal Chileno. 30 pp., INFOR 小宮忠義 (1993) 南米チリの産業造林と環境造林. 熱帯林業 (新) 27: 2~11 齊藤昌宏・谷本丈夫 (1994) 乾燥地における植生の微気候緩和—中国北西部における温湿度測定の数例から—. 森林立地 36: 73~79 齊藤昌宏・谷本丈夫 (1995) 中国北西部の乾燥地における水の塩類濃度. 森林立地 37: 9~18 齊藤昌宏 (1996) プロソピス属 (*Prosopis*) 96~102, (森徳典ほか編: 熱帯樹種の造林特性 第1巻. 255 pp., 国際緑化推進センター) 齊藤昌宏 (1997) コシヨウボク (Pepper tree) 193~198, (同上書 第2巻. 277 pp.) 齊藤昌宏 (1998 a) チリの森林と林業(1)森林の分布と林業の概況. 熱帯林業 (新) 41: 42~50 齊藤昌宏 (1998 b) チリの森林と林業(2)針葉樹天然林の分布と現況. 熱帯林業 (新) 42: 20~30 齊藤昌宏 (1998 c) 中国北西部, 天山山地のトウヒ属林. 北方林業 50: 205~208 齊藤昌宏 (1998 d) チリの森林と林業(3)ナンキョクブナ林の分布と更新. 熱帯林業 (新) 43: 42~54

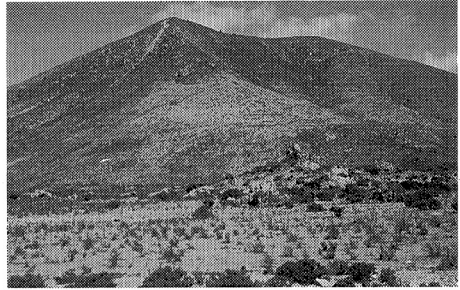


写真 16 海岸側から見た Pichidangui 山

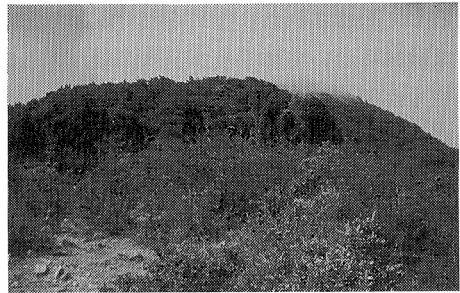


写真 17 Pichidangui 山の山頂部に成立した森林