オーストラリア、ビクトリア州グレンエルグ河 流域における土壌侵蝕とその対策

橋 爪 若 子*

Soil Erosion Control Measures in Glenelg Catchment, Victoria, Australia

Wakako HASHIZUME

Abstract

Man, from ancient times, has been acting as an agency to change the face of the earth. Man has built civilization by utilizing land and natural resources. In other words, various civilizations have been built at the expense of natural environment. There are many evidents of the destruction of soils, forests, grasslands and streams as a result of inadequate land use, and of the consequent declines of some civilizations. As the population of the world increased, man was forced to find more lands to support the multiplied members. Thus, people started to spread over the face of the earth. Conquerors, pioneers, immigrants—whatever you call them—they all contributed to the further changes in natural environment by exploiting the newly acquired lands. The New World, where a balance between climate, soil, vegetation and the native life had been reached before settlement by Europeans, went through drastic changes. Soils on the continents of America and Australia, for example, have deteriorated at an unprecedented rate within a matter of a few hundred years.

In recent years, the problem of desertification of lands in arid, semi-arid and even moderately humid regions of the world has become exceedingly serious. Millions of people living on unproductive lands are starving to death. The attention has been brought up to various international institutions and the United Nations Organization, for one, has been actively working on the matter. However, the most important thing is for all the people to realize the role of human activity in the desertification process—in effect to think why resource management is leading to resource deterioration, if not destruction. It is also a known fact that the people living under harsh climatic conditions tend to regard natural hazards as something which they are doomed to live with, something entirely beyond their control. Therefore, it is essential to convince them, particularly those who engage in agricultural and pastoral activities, to face, instead of shutting their eyes to, the problem and to learn how to cope with it.

This paper tries to indicate the fact that human activity is responsible to a great deal, if not entirely, for the destruction of natural environment. A semi-arid region in Australia was

* 文際学園 Tokyo Institute of Intercultural Communication

selected as the study area, as the country has exhibited some of the most serious human impacts on the deterioration of land. The study is mainly concerned with soil salting and erosion, seeing these as an index of the relationships between climate, water balances and biotic forms on one side and human land use systems on the other.

The Glenelg Catchment Project is a major soil conservation scheme taken place in far Western Victoria. It is a project in which landholders co-operated with the Soil Conservation Authority to carry out soil conservation and erosion control measures to protect the productive capacity of their land, the beauty of the landscape, and to prevent the siltation of the Glenelg River and its major tributary, the Wannon. The co-operative approach on which the scheme is based has spread, from 1962 to the present, involving some 5,200 square kilometers and 1,350 landholders. The case study shows why the project was necessary, how it came about and what has been achieved...and the problems yet remain to be solved.

I. はじめに

CARTER (1974) その他によって指摘されているように、人間は文明の進歩と共に多くの技能を修得したが、生命の拠りどころである土壌の保全はとくにおぼろげにされて来た。乾燥圏の大河川流域に発達した古代文明や地中海地域の文明の衰亡にはさまざまな理由が挙げられるが、その根本的な原因はいずれも土壌の永久的な荒廃であった。耕作や牧畜のための森林の除去、建築、造船、燃料などのための樹木の過伐、過放牧、不適正な灌漑手法などが土壌の流亡、侵蝕、塩化、不毛をひき起こした。

文明の進歩に伴って人口が増大すると、征服、植民地開拓、移民などによって、さらに新たな土地や資源の収奪が行なわれた。そして現代にいたるまで、古代の人びとがおかした誤ちはつづけられているのである。植民地開発による土壌の荒廃に関しては、MARSH (1864) が、かつてローマ帝国の支配下にあった土地にその証拠が明確に見られると述べており、また SANER (1938) は主としてラテン・アメリカの研究に基づいて、ヨーロッパ人の進出が植民地における広汎な地力の低下をもたらしたことを指摘している。アメリカに関しては、MARSH が19世紀初頭以来の西漸運動に伴う急速な農業開発、とりわけ森林の除去の影響を重視していたし、19世紀末には、アパラチアの土地の荒廃を憂慮した ROOSEVELT 大統領が、土壌保全の対策の一環として国立公園法を強化した(渡辺 1977)。

筆者は本稿を通じて、ヨーロッパ人の植民地開拓がオーストラリアの自然環境に及ぼした影響、そして入植後一世紀以上を経てようやく認識されるに至った土壌保全の重要性に関する若干の考察を試みるものである。後述の如く、ビクトリア州の南西部、グレネルグ河流域は、この国の基幹産業である牧羊業の古くからの中心地の一つであり、かつては羊毛王国と呼ばれた Hamilton の町もここにある。この広大な大陸の一隅で行なわれたグレネルグ河流域土壌保全計画は、世界の注目をひくほどのものではないかも知れない。しかし、ビクトリア州の土壌保全局 (Soil Conservation Authority) と地域住民との協力のもとに20年をかけて遂行されたこの事業は、土壌保全の重要性の認識を高める上において充分に参考になろう。

考察にあたって、筆者はオーストラリアの公的機関及び研究機関による数多くの資料や報告を用いたが、1974年と1982年の2度の現地訪問によって、地域の実状を多少なりとも把握することが出来た。当事業の最終的な成果、経費などに関しては、今後の報告が待たれる。

II. オーストラリアの農業開発と土壌の悪化

1) ヨーロッパ人の入植と自然環境の破壊

Sydney Cove に初の英国流刑植民地が開かれたのは1788年のことである。次いで1793年に自由移民の入植が始まり、1813年には Blue Mountains を越える内陸へのルートが発見された。1831年から1860年にか

けて毎年平均1万人近くの移民が到着し、牧畜を営む squatters によって広大な土地が占拠された。植民地開発の発展は原住民社会の破壊をもたらした。ヨーロッパ人の入植当初約30万と推定されたアボリジニーの人口は、入植者や軍隊との闘争や新来者によって持ち込まれた種々の伝染病によって激減した。1830年代に入ると、原住民保護の名目のもとにアボリジニーは農耕や牧畜の妨げにならぬよう、居留地に隔離された。アボリジニーが東南アジア方面から渡来したのは、3～4万年前のことと推定されている(北大路 1982)。彼等は半家畜化した犬、ディンゴを伴って来たが、牛、羊、山羊、豚などの有蹄家畜はこの大陸には知られていなかった。アボリジニーは、アメリカ・インディアンのような集約的土地利用を知らず、また焼畑や移動耕作によって土地の性格を改変することもなかった。狩りのために低木に火を放ったり、小屋作りのために樹木を切ったことは知られているが、草地や森林の植生を大規模に破壊することはなかった(CSIRO 1976 a)。したがって、オーストラリアの自然環境の破壊、土壌の悪化は、ヨーロッパ人の到来と共に始まったといえる。

オーストラリアの土壌が短期間に悪化した原因の一つは、前述の如く、入植のペースが速かったこと、そして、この国の開発の時期がヨーロッパの農業革命以後のことであり、イギリス、スコットランド、アイルランドからの入植者が、かなり高度な農業技術を身につけていたことである。彼等は原住民を使わず、ヨーロッパ式の手法で農業経営を試みた。オーストラリアの古生代、中世代の地層を母材とする土壌は、第三紀末期以来の風化作用により無機質の分解が進んでいる。表土は全体的に薄く、耕地では15～20cmで心土が露出することも稀ではない。このような土壌構造は耕作や牧畜によって容易に破壊され、流亡や侵蝕が起こりやすい(CSIRO 1980 b)。また、アメリカのバージニアやニュー・イングランドのプランテーションや自営農業とは異り、植民地開発初期に squatters が優勢だったことも家畜による広汎な草地の破壊の原因となった。彼等は各自1万5000～6万haもの土地を占拠していたが、これは天然の草地の家畜飼養能力が極めて低く、羊1匹に数エーカーを要したこと、またオーストラリアの乾燥圏に限って適用された lease and licences of Crown lands の地代が安く、契約期間が短かったことなどにもよる(CSIRO 1976 b)。

過放牧が土地の不毛化、砂漠化の原因となることは、アメリカのソノラ砂漠とアフリカのサハラ植生状態を比較研究した SAUER (1956) などによって明らかにされている。オーストラリアの場合、多数の羊はカンガルーやワラビーなどの在来の草食動物以上に草地に圧力を加えるほか、塩類土壌に生えるいわゆる salt bush をも喰いつくす。植被が完全に失われた地表は表層侵食がひどくなる。また、開発初期の牧畜は大小河川の近くの水を得やすい場所に集中したため、蹄に踏みつけられたクリーク沿いの土壌侵食がすすんだ。1924年のイギリスの羊毛関税引き下げを契機に、オーストラリア羊毛の輸出が急増し、1850年以降はイギリス市場を独占するに至った。井戸や溜池の建築技術が導入されて牧羊は内陸に向って拡大し、羊の飼育頭数は1860年には2098万匹、1981年には1億0424万匹に達した(琴野 1972)。

家畜以外にも、ヨーロッパ人が連れて来て、後に野生化した馬、ロバ、ラクダなどが草地を荒らした。また、ウサギによる害も無視出来ない。またたく間に大陸の南半分で繁殖したウサギは、生えなかった草の芽をあさり、若木の樹皮をはぎ取り、木の根元に穴を掘る。また侵蝕溝の側面にもぐり込んで幅を広げるなどして、土壌侵蝕を助長した。毒殺などの手段によってその数は第二次世界大戦以降は大幅に減少したといわれるが、地域によっては現在もなお多大の害を与えており、CSIRO の調査官も例え過放牧を止めてもウサギが存在する限り草地の回復は極めて困難だといっている(CSIRO 1976 c)。

乾燥、あるいは半乾燥圏における森林の除去が土壌侵蝕、土地の不毛化をもたらすことは、サハラやレバノンの例からも明らかであり、森林学者の St. Barbe BAKER (1966) も、1950-60年代を通じてのサハラ周辺の調査の結果を関連各国政府に警告し、再植林の必要性を強調している。オーストラリアの場合、森林面積は全国土のわずか2%ほどで、アメリカ合衆国の22%と比較しても極めて小さい(福井 1972 a)。しかも商業林の大部分、約4250万 ha は、半乾燥圏の range lands と呼ばれる農耕に不適な地形の峻しい

地域にあり、伐採後の降雨の流去が著しい土壌侵蝕をひき起こす。また、ビクトリア州北西部から南オーストラリア州にかけての、年間降水量 250~300 mm で、砂丘が点在する地方では、かつて全域をおおっていたユーカリ樹の一種、mallee が、農耕や放牧のため、あるいは建材や燃料として大量に伐採された (HALLWORTH 1976)。地下深く根を張る樹木に代って、根の浅い一年生や多年生の牧草が栽培されるようになると、蒸散が著しく減少し、雨水の地中への浸透が増大する。雨水は土壌中の塩基類を溶解しながら先天的に塩分の濃い地下滞水層に達する。やがて水量、塩分共に増した地下水が毛細管現象によって上昇する。地下水面が地表に接近すると蒸発によって地表に塩基類が集中し、土壌の塩化、土地の不毛化をひき起こす。オーストラリアでは、溶解塩の中で最も一般的なのは sodium chloride (NaCl) で、土壌中の比重が 2% 以上であれば塩類土壌 (saline) といわれている (CSIRO 1980)。

乾燥圏の土壌の塩化が進み、土地が不毛化すると、やがて地域全体の生産力が衰える。1977年にナイロビで世界の砂漠化の問題を討議する国連会議が開催された。同会議において FAO, UNESCO, WMO が共同で作成した、“World Map of Desertification” が提示された。それによると、オーストラリアの乾燥圏及び半乾燥の土壌は、極度の悪化が 30万7732km² (4.0%)、かなりの悪化が 172万2056km² (22.4%)、多少の悪化が 371万2213km² (48.3%) で、ほぼ全域にわたって悪化していたことになる。DREGNE (1977) によれば、砂漠化は、“乾燥圏、半乾燥圏、そしてやや湿潤な地域の生態系 (ecosystems) が、人間の生産活動と旱魃が結合して与えた影響のもとに疲弊したものであり、その進行は望ましい植物の生産力の減少、動物群と植物群の多様な交替、急速な土壌の悪化、及び人間の土地占拠がもたらす危険の増大によって測定される。”と定義されている。

非灌漑農地の塩化 (dryland salinization) は、大陸の南部諸州における共通の問題となっており、とりわけ森林の開拓による進行が目立つ。例えば西オーストラリア州では塩化土壌の面積の率は、1955 年が 0.5%, 1962 年が 0.68%, 1974 年が 1.17%, 1979 年が 1.75% となっている (HENSCHKE 1980)。

次に、オーストラリア大陸の東南隅に位置し、ニュー・サウス・ウェールズ州と共に最も古くから農業開発が進められたビクトリア州の土壌の塩化の問題をとり上げたい。

2) ビクトリア州における土壌の塩化

オーストラリアは世界の大陸の中で最も乾燥気候の分布が広く、大陸の中央部から西方及び南方に広がる。年降水量が 250mm 以下の地域が全体の 37% にも達し、人口や産業の分布に大きな影響を与えている。各州における降水量別の面積比は第 1 表の如くである (福井 1972 b)。

ROBINSON の気候区分によれば、ビクトリア州は北東部が高地気候、北部が亜湿潤東部内陸気候、南部が湿潤南部気候、西部が温帯冬雨気候に属する (福井 1972 c)。このうち、ニュー・サウス・ウェールズ州にまたがる亜湿潤東部内陸気候区は、年降水量 375~500mm でこの国の重要な農業地域である。東部高地内陸側の緩斜面や平原は、冬の雨に依存する主要な小麦地帯で、南縁と東縁の湿潤な地帯は家畜の飼育に適している。気温の年較差は大きく、冬は寒く降霜をみる一方、夏は常に暑い。内陸の常として日較差も大きい。植生は南部ではオーストラリアで一括して wood lands と呼ばれるタイプで、ユーカリの疎林がみられる。

第 1 表 降水量別のオーストラリア各州面積比 (%)

	Qld	N.S.W.	Vic.	S.A.	S.W.	N.T.	Tas.
250 mm 以下	13	20	0	83	58	25	0
250-500 mm	34	41	38	14	29	42	1
500-1000 mm	41	33	52	3	11	21	43
1000 mm 以上	11	6	10	0	2	12	56

福井 英 一 郎 (1972 c)

農業に適した気候に恵まれたビクトリア州の入植は急速に進んだ。1840年には1万0291人だった州人口は、ゴールドラッシュ以後の1950～1960の10年間で7万6162人から53万8234人に増大した。squatters による土地の独占を制限し、小農の入植を促進するために、ビクトリア植民地政府は王領地を譲渡することにした。1860年の Land Act の通案により、各入植者の所有面積は640エーカーに制限されたが、通案以前に既に400万エーカーが squatters に占拠されていたという。1862年までに、主として州の西部と金鉱周辺の約80万エーカーが売却されたが、squatters はダミーを用いて土地の獲得をつづけていた。1869年に第二次 Land Act が制定され、所有面積は更に制限されて320エーカーとなった。エーカー当りの購入価格は1ポンド、借地料は2シリングで、契約期間は3年と定められた。この法案の有効期限の終る1880年までには、Wimmera, Goulburn Valley, Gippsland を含む1100万エーカーの農地が開発され、小麦栽培や畑作も定着しつつあった (Victorian Year Book 1973)。1880年代に入ると、それまでは緩慢だった鉄道の建設がようやく本格化した。また1886年の Irrigation Act の制定以降は、植民地政府の認可を得た灌漑組合によってマレー河 (The Murray) 沿いの年降水量300～500mm の地域で果樹やブドウの栽培が始められた。かくしてビクトリア州の農業は拡大かつ多様化した。それと共に土壌の塩化による農地の不毛化、すなわち塩害 (salinity problems) が目立ち始めたのである。塩害は早くも1853年にグレネルグ河流域の放牧地域で発見され、マレー河沿いの灌漑地域では1890年から1910年にかけて数多くの報告がなされている (橋

爪 1982 b)。

ビクトリア州の地中海性気候の半乾燥圏に広く分布する塩類土壌は、雨と風の侵蝕を受けて更に塩化がすすむ。しかし、農業地域における塩害の原因は土地利用のさまざまな変化にある。その一つは森林の除去である。Institute of Foresters (1980) によれば、ヨーロッパ人の入植当時森林は州面積の約74%を占めていたと云われるが、1979～80年の統計では約36%、810万 ha を残すのみとなっている。この州の主要な森林地帯は州の東半分、メルボルンの北からニュー・サウス・ウェールズの州境にかけて存在するが、西方の Mallee や South Western District では、ユーカリ樹の過伐が土壌の塩化、侵蝕の大きな原因となっている。グレネルグ河流域を含む South Western District には、とりわけ森林を切り開いた放牧地が多い。例えば、Balmoral 周辺1,600 ha では、1953年に1,600本あった red gum が20年後の1973年には25%も減少して、1,200本になった。地域全体の農業面積186万0659haに対して牧草地は162万0030ha で87.1%を占めており、これは州全体の牧草地の17.8%にあたる。したがって、家畜の数も多く、牛は約87万頭で州比率は20.5%、羊は637万8000匹で州比率は28.6%にも達している (第2表参照)。

Photo 1 土壌の塩化のため枯死したレッド・ガム (1982年12月カスタートンにて筆者撮影)

Photo 2 牧場内の低地で進行しつつある土壌侵蝕 (1982年12月筆者撮影) カスタートン

第1図 Victoria-Statistical Divisions

1) North Western	8) Central Highlands
2) East Gippsland	9) Loddon-Campaspe
3) Central Gippsland	10) Northern Mallee
4) East Central	11) Wimmera
5) Goulburn	12) South Western (including study area)
6) Melbourne	
7) Barwon	

ABS Victorian Office (1982) より作成

第2表 農業/牧草地面積，家畜頭数及び比率

	Australia	State of Victoria		South Western District	
		面積 (ha)	全国比率(%)	面積 (ha)	州比率(%)
* 農業面積 (ha) (放牧, 休閒を含む)	496,300,000	14,735,140	2.97	1,860,659	12.62
栽培牧草地 (ha)	14,703,000	6,224,275	61.93	1,323,592	17.79
天然牧草地 (ha)		2,880,678		296,438	
牛(ミルク, 食肉) 頭	26,203,000	4,252,000	16.23	870,000	20.46
羊(羊毛, 食肉) 匹	136,000,000	24,400,000	17.94	6,978,000	28.60

ABS Victorian Office (1977) 及び ABS (1982 & 1983) より作成

牧草地の塩化が始まると、クローバーの類が姿を消して土壌中の窒素が減少する。土壌の悪化の指標となる草木は、sea barley grass (*Hordeum hystrix*), desmazeria (*Desmazeria acutifolia*), sand spurry (*Spergularia rubra*), buck's horn plantain (*Plantago coronopus*) などである。これらの塩性植物の周辺には、地表に集積した塩がコンクリート状に固まってソルト・パンを形成しているところもある (SCA 1977)。しかし一般に、放牧地では、地域が広大なのと、牧草の塩害の症状が畑作物や果樹ほどは顕著でないために塩害は発見されにくい。塩分を好む羊が地面をなめていることによって気がつく場合もあるが

大概是植生の交替，土壤侵蝕，或は家畜用溜池の塩分が異常に濃くなってはじめて発見される（橋爪 1982 a）。表層侵蝕が始まると，平均 1000 年もかかって形成された厚さ 2 cm ほどの表土が失われ，草地の回復は非常に困難になる（VIPRO 1981）。

土壤の塩化に関して（CSIRO 1980 b）は，ヨーロッパ人の入植以前から存在した先天的に塩分が濃い状態を“primary salting”，その後人間の生産活動によってもたらされた現象を“secondary salting”と区別しており，後者は環境問題として扱われる。ビクトリア州の非灌漑農地の塩化は，JENKIN（1979）によれば，primary が 6 万 ha，secondary が 9 万 ha であったが，VIPRO（1981）の調査では各々 10 万 ha，12 万 ha となっていた。このうち牧草地の塩害は，secondary のものが数千ヘクタール報告されていたにすぎないが，実害ははるかにこれを上まわると推定されている。灌漑地域の土壤の塩化は全て secondary であり，JENKIN は，全灌漑地域の 16.7%，9 万 6000 ha が塩害のため生産力が低下，あるいは永久的に不毛化したと報告している。

次章では，この州の典型的な牧畜地帯，グレネルグ河流域における土壤侵蝕とその対策の考察を試みる。

III. ビクトリア州，グレネルグ河流域の土壤侵蝕とその対策

1) 自然環境

ビクトリア州の主要河川の殆んどは東部又は中央部の山岳地帯から流出しているが，グレネルグ河は南西部のグランピアン山脈（The Grampians）に源を発する。東部山系の諸河川に比してはるかに小さく，

第 3 表 ビクトリア州内の主要河川の若干の比較

Stream	Length (km)	Drainage Area (km ²)	Annual Stream Flows (1,000,000m ³)		
			Mean	Maximum	Minimum
東部/中央部山岳系					
The Murray (ビクトリア州内のみ)	1,926	6,527	2,368	6,123	576
The Goulburn	566	10,772	2,139	7,369	145
The Loddon	381	4,178	231	740	9
The Mitta Mitta	286	5,058	1,411	4,256	250
The Campaspe	246	3,212	236	820	1
The Ovens	228	5,828	1,572	4,143	221
The Broken	193	1,924	247	1,091	19
The Kiewa	185	1,145	632	2,071	166
The Snowy (ビクトリア州内のみ)	162	13,421	1,814	4,002	381
西部山岳系					
The Glenelg* (at Balmoral)	457	1,570*	144.6*	540	3
The Wimmera	291	4,066	128	589	n/a
The Hopkins	282	1,347	32	127	1
The Avoca	270	2,624	76	395	3

ABS Victorian Office (1977) 及び LCCV (1979 a) より作成

* Land Conservation Council Victoria (1979) : Report of the South-Western Area District 2, p.73

全長457km, 集水面積1,570km², 年平均流出量1億4460万m³である。年毎の流出量の変動が極めて著しく, 60年間の最大/最少の比率180:1が記録されている。上流は森林につづく沼沢地帯を流れているが, 下流に向って谷間は次第に深く開析され, 河は台地の下を流れて Casterton の町の南東で Wannon 河を受け入れ, 広大な海岸平野を抜けた後, 南オーストラリアとの州境に近い Nelson で海に入る (第3表及び第2図参照)。

グレンエルグ河流域は冷涼湿潤な冬季と高温乾燥の地中海性気候に属する。年降雨量の約15%がグレンエルグ河に流入すると推定されているが, このうち12月~5月の夏季に得られるのは10%にも満たない。このため冬季の増水による氾濫が起こりやすい一方, 夏季には殆んど干上ってしまうことが多い。森林のすぐ下流にある Rocklands のダムに冬から春にかけて全流量の約10%が貯水され, 夏季の極度に濃い塩分を緩和するために放出されるが, その他にはめばしいダムはない。河水の塩分は Balmoral 観測所で 312~4,200mg/l, Casterton で 460~5,600が記録されている (LCCV 1981 b)。JENKIN によれば, 1950年代後半に森林の過伐が行なわれた際, Rocklands 地点の河水塩分は年間約1%の率で増加しつづけたという。

地形学上, グレンエルグ河流域は次のように分類されている。1)Wimmera Plains, 2)Dundas Tablelands, 3)Dergholm Platform, 4)Follett Plains, 5)Merino Dissected Tablelands, 6)Volcanic Plains, 7)Normandy Platform, 8)Tyrendarra Plains (Mt. Clay)。(第4図参照)

Dundas Tablelands は古生代の堆積物, 変成岩, 海底溶岩などを基盤とし, その上に北部では第三紀, 南部では中生代と第三紀の堆積物が載っている。Merino Dissected Tablelands の Merino, Casterton, Coleraine を含む約1,100km²は, 白亜紀前期の泥岩や砂岩の堆積物から成っている。第三紀の初期から中新世にかけて侵入した海によってこの二つの台地の侵蝕が進み, 海の後退後に残された海底堆積物が長期的にわたる風化作用を受けて, ラテライト土壌が発達している。Volcanic Plainsは玄武岩の上に砂利混りの砂質粘土または砂質ロームを載せている。Wimmera Plains には砂丘が発達し, 沼沢地も点在する (LCCV 1981 c)。

グレンエルグ河の塩分の濃さはこのような地質構造にも起因するが, ヨーロッパ人の入植後は, 流域における過伐採によって塩分が増加した地下水や農業排水の流入によって水質は更に悪化したという (JENKIN 1979)。河水のみならず, この流域の地下水の塩分もほぼ全域にわたって濃く, Dundas Tablelands の一部には3,900~16,700mg/l に達するところもある。

流域の植生は降雨量, 地形, 土壌などによりさまざまである。グランピアン山脈の森林は針葉樹, 広葉樹共に種類の多いのが特徴である。森林は Ararat や Stawell の近く, また Wimmera Plains の丘陵地にも残存し, 公有地となっている。かつては Wimmera Plains と Dundas Tablelands の殆んどが river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) の林でおおわれていたし, 北部には brown stringybark (*E. bax-*

第2図 The Glenelg Catchment-Locality Plan
SCA (1981 a)より作成

第3図 Precipitation Distribution in the Glenelg Catchment. SCA (1981 b) より作成

メリノ種の羊の放牧地として選ばれ、ただちに牧羊業者の入植が開始された。先住者のアボリジニーは入植者との戦いに敗れてほぼ全滅し、Wando Vale には Fighting Hill の名が残っている。前述の如く、牧羊業者は広大な土地を占拠したが、土壌の保全には殆んど無関心であった (LCCV 1979 b)。

グレネルグ河流域における土壌の塩化と侵蝕の最初の記録は、1853年に Wannon 郡の John ROBERTSON が当時のピクトリア植民地総督、La TROBE に宛てた手紙である。“入植当時は羊の数もさほど多くなく、3～4年間は草地の変化にも気がつかなかった。しかし今はむき出しの地表が太陽にさらされ、丘陵のあちこちに地すべりが起こっている。初めは2～3カ所だったのが今では数百カ所にもなった。…あらゆる窪みや水路から塩辛い水が滲み出ていて、周囲の草は全て枯れ果てた。雨水は地表を流出し、

ter), 南部には manna gum (*E. Viminalis*), swamp gum (*E. ovata*) などが群生していた。現在ではこれらの疎林の大部分は切り開かれて放牧地となっているが、保有地内に多少の red gum が残っているのが見られる。天然の草地は Hamilton の北方に幾らか残っているが、次第に栽培牧草地に変えられつつある (LCCV 1981 d)。

2) 地域の開発と自然環境の破壊

グレネルグの河口、Nelson にイギリスの捕鯨船やあざらし猟船団の交易基地が設置されたのは1800年の末である。初めは牧畜も沿岸で行なわれていたが1836年にニュー・サウス・ウェールズ方面から南下して来た踏査隊によって、ウイメラ河 (The Wimmera) やグレネルグ河の流域に放畜に適する草地や、良質の木材を産する森林があることが確認された。とりわけ現在の Casterton, Coleraine, Merino の一帯は、red gum におおわれた水平な台地が深い谷間の草地に向って落ち込む地形のコントラストの美しさから Australia Felix (幸福の地) と名命されたほどで、

第4表 グレネルグ河流域, Casterton における月別降雨量と気温

	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	An-nual
降雨量(mm)	25	30	35	49	70	60	93	86	76	61	53	42	680
気温 (C°)	最高	27.2	26.8	24.2	20.7	16.2	14.3	13.2	14.4	16.2	18.9	21.3	23.6
	最低	11.7	12.2	10.8	9.1	7.1	5.5	4.9	5.4	6.4	7.5	8.8	10.3

Source : Bureau of Meteorology, Victoria
Precipitation-1979
Temperature-1975

LCCV (1981 a) より作成

押し流された土砂や灌木でクリークがつまってしまった。……深さ10フィートもある溝渠が数マイルにわたってえぐられ、馬を乗りまわすのも難しくなった。”(SCA 1981 c)。

森林を切り開いて栽培牧草が拡大するにつれて、この地方はメリノ種やイギリス交配種による羊毛生産の中心地として発達して来た。近年はまた、中東向け食用羊の肥育も盛んに行なわれている。牧牛もほぼ平行して発展し、仔牛の繁殖、肥育を主としている。羊と牛の両方を飼育する牧場が多く、したがって、農業的土地利用の中では牧草が圧倒的な割合を占めている。例えば Glenelg Shire では、1978~79の栽培草地16万1982ha、天然牧草地3万8768haに対して穀類その他の栽培は3,015ha にすぎない(LCCV 1981 e)。

前章で述べた如く、グレンエルグ河流域においても過放牧やウサギによる草地の悪化が進行している。多年生の根の深い草木が減少して、一年生の劣性植物と交替する。ビクトリア州土壌保全局(SCA 1981 d)によれば、前者の年蒸散能力490~640mmに対し、後者ののは400~570mmにすぎない。すでに過伐が行なわれた red gum は、一日に最大900lの水を地下から吸い上げて蒸散させる能力があり、地下水面を低位に保つ効果がある。このような植生の除去により、地下に浸透する雨水の量が増加し、地下水面の上昇による地表の塩基類の集積が起こった(前述)。

1830年代後半に始まった牧羊、牧牛につづいて、1870年代には多数のドイツ系農民がグレンエルグ河流域の丘陵の斜面や谷底で穀類栽培を開始した。Wimmera Plains の小麦栽培も本格化し、19世紀末期には農業機械や化学肥料の使用が促進された。果樹、ブドウ、オリーブなどの栽培も含めて地域の農業は多様化した。それと共に丘陵地の土壌の流亡、侵蝕も進んだのである。林業は1880年代から行なわれていたが、本格化したのは1920年代からである。乱伐のため良質の木材の不足を来し、植林の必要が生じた。1970年代末には、オーストラリア・パインを主とする軟木の改良林が約3万8000ha、堅木の改良林が8,000haほどになっていたが林業のみならず、丘陵地の土壌保全の面からも植林の必要性がさらに重視されている(LCCV 1981 f)。

地域の開発と共にグレンエルグ河流域の土壌侵蝕が進んだ。1747年には、ビクトリア州河川給水局の調査官によって数多くの地点における溝渠侵蝕、表層侵蝕、地すべり、土砂流、流砂などの他、小河川やクリークの河床侵蝕、大河川の泥土や石砕の堆積、河流の閉塞、洪水などが報告された。グレンエルグ河の洪水の最初の公的記録は1870年であるが、1889年、1894年にも起こり、今世紀に入ってから Casterton の町が1906年¹⁾、1946年と1947年、Coleraine の町が1946年に大洪水に見舞われている。洪水はさらに1950年、1955年、1958年と頻発したため、1958年には土壌保全局が州議会に働きかけて特別対策委員会が設置された。ここで改めて流域内の土壌侵蝕と洪水との関連性が検討され、河川の流れを回復させるための土壌保全の重要性が認識されたのである(SCA 1981 e)。

3) グレンエルグ河流域計画 (The Glenelg Catchment Project)

第4図 Land Form Division in the Glenelg Catchment. LCCV (1981 c) より作成

(1) 侵蝕のタイプと規模

グレネルグ河流域の土壤侵蝕は、主として次のタイプに分類される。(1) gulley erosion—溝渠侵蝕。地表を集中的に流去する水によって深い溝が刻み込まれる。斜面頂部では滝状の侵蝕が見られる。(2) sheet erosion—表層侵蝕。表土が流去水によって押し流されるか、または風で吹き飛ばされる。(3) bank erosion—河岸侵蝕。河川やクリークの両側面の底部がけずり取られる。(4) landslides—地すべり。大量の土砂が斜面をすべり落ちる。(5) mass earth movement—土砂移動。地すべりが発生した後に集中して次々と発生する (SCA 1981 f)。

侵蝕の種類や規模は、土壤のタイプと密接な関係がある。例えば、Dergholm Platform 南部の Casterton 周辺の、黒色土と花崗岩の風化土壤の混合地域では溝渠侵蝕が最も著しい。表土が脆く、床岩の位置が低いため、溝は深く刻み込まれ、露出した床岩がさらに侵蝕を受ける。溝が深まるにつれて側面が脱落し、幅が広がる。また、この種の土壤は地すべりや土砂移動を起こしやすく、台地の端が最もひどい。とりわけ、植被を失った土壤中の水分が飽和状態に達した場合に発生しやすい。1962年に、グレネルグ河流域計画の実施に際して土壤保全局が Casterton 地区で確認した侵蝕状況は次の通りであった (SCA 1981 g)。(1) 深さ1.5m 以内の溝渠侵蝕。1 km² 以内に計 70m。浅い溝渠の底部は一般に植物でおおわれていた。(2) 深さ1.5~4.5m の溝渠侵蝕。1 km² 内に計480m。深い溝の底部と側面は、やはり植物でおおわれていたが、側面には新たな侵蝕が始まり、脱落も見られた。(3) 深さ4.5~9 m の溝渠侵蝕。1 km² 内に計290m。深い溝の側面は一般に垂直で植物被覆は見られない。流去水によってさらに侵蝕され、やがて脱落する。底部には崩れ落ちた土砂が堆積した上に植物が生えている。(4) 0.2~1.6ha の規模の土砂移動。10km² 内に計40カ所。

注目すべき点は、これらがいずれも土壤の塩化が認められる地点に発生していることで、塩化が著しい場合には溝渠の側面、底部共に植被は見られず、侵蝕個所の周辺も裸地化している。また、この種の黒色土は表層侵蝕に対しては比較的抵抗力があるといわれているが、塩化が著しい牧場では9.5ha の表層侵蝕が見られ、心土が露出していた。グレネルグ河流域内で最も開発が進んだ Casterton で土壤侵蝕が最も進んでいたことは、人間の生産活動との関連を裏づけるものであろう。

(2) 計画の実施

この計画は、ビクトリア州の土壤保全局が、流域内で最も土壤侵蝕の著しい Casterton, Coleraine, Merino のを地区 (メルボルンの西方約350~400km) の土地所有者との協力により、1962年に着手したものである。計画の目的は土壤保全と侵蝕の制御、土地生産性と地域的美観の回復、河川の泥土の堆積の制御と河流の回復、洪水の防止などである。計画の実施に先立って、Glenelg Soil Conservation District Advisory Committee と Glenelg River Improvement Trust が設立された。まず、ラジオ、地方新聞、展示、講演、実演などを通じて地域住民の教育の普及につとめたが、土地所有者達に事態の重要性を認めさせるのは容易ではなかったという。“Perception of Desertification” と題される国連大学の論集 (Heathcote 1980) の中でも指摘されているように、オーストラリアの農民は概して自分の保有地以外の環境問題には関心が薄く、地域全体の実状の認識に欠けている。このために土壤の塩化や侵蝕地点や河流閉塞の情報の収集が困難だった。また、政府や学者の介入に反感を抱く者もいて、家畜頭数の制限も容易ではなかった。

最初に計画の対象となったのは、Wannon Shire を含む25km² で、25人の土地所有者が参加した。台地の急斜面の裸地化地点や、家畜の往来のはげしいクリーク沿いの土壤の不安定な個所が地図に記入された。初年度の経費見積りは、植生保護柵計 2万0420km に6,353ドル、土壤中の過剰水排除のための鉄筋コンクリート製樋計53m³ に6,254ドル、水流転換用堤防計1,960m に216ドル、牧草地計61ha の改良に1,888ドル、合計 1万4711ドルであったが、実際には2万ドル以上かかった²⁾。この実験の成功に基づいて計画は拡大し、1980年までには参加した土地所有者約1,100人、対象地域は約4,000km² に及び、全計画地域の約

74%がカバーされた (SCA 1981 h)。

計画の実施に際して最も重要視されたのは、溝渠侵蝕の原因となる雨水の過剰流去を防止することであった。このため個々の保有地内に排水溝を設けたり、また地下水面を低下させて表土の塩化を制御するために、蒸散能力の高いユーカリ樹の保護や植樹が奨励されている。若木には家畜よけの囲いがしてある。ウサギには金網を用いる。

侵蝕溝渠の内部を植物でおおって土壌の安定をはかる方法は、かなり成功している。最も一般的に用いられているのは cane grass (*Phragmites communis*) である。この草は乾燥し

た頂部や側面をおおうと共に、浸水状態にある底部でもよく育つ。5,000mg/l の塩分にも耐えるが、定着の速度を増すためには自動車の古タイヤの中に固定して育てる。溝渠底部の安定に最も有効な灌木は tamarisk (*Tamarix gallica*) で、塩分の濃い浸水状態のところでもさし木がすぐに定着する。現在では計画地域内に数千本あって、春にはピンクの花を咲かせて景観の回復にも役立っている。河川の侵蝕安定には、流水を必要とする cumbungi (*Typha angustifolia*) や rush (*Juncus spp.*) が用いられる。河岸には flat topped yate (*Eucalyptus occidentalis*), river sheoak (*Casuarina cunninghamiana*), swamp paperbark (*Melaleuca ericifolia*) などが植えられている。その他、植樹がすすめられているのは, Cole-raine の農業試験場で育てられた, American cottonwood (*Populus nigra*) と lombardy poplar (*Populus deltoides*) の交配種である (SCA 1981 i)。

深さ数メートルにも達する大規模な溝渠で、底部の浸水が甚だしい場合には、植物のみならずさまざまな手段、建造物が必要である。排水の後に、頂部に設けたトタン板のシュートから土、砂利、大小の石を大量に落とし込む。これ等を安定させるために、red gum や松の厚板、大型の石を組み合わせた保護壁で支える。侵蝕がさほどひどくない個所には、古タイヤを数個つなぎ合わせ、鉄棒で固定させた中に cane grass などを植え込む。また溝渠の頂部の脱落を防ぐためには、頂部周辺を地均してコンクリートで固める作業が行なわれ、さらに地くずれを制御するためのコンクリート製の排水溝なども設けられる。

水流の転換作業には、以前は鉄筋コンクリートの堰が用いられたが、コストが高い上に水の圧力で基部がえぐり取られることが多かった。現在は、石で築いた堰の方が有効度が高いとされている。但し、建造個所の選択と、大小の石の組み合わせが難かしいのが欠点である。また、泥土の流失防止用にフィルター・クロスなどを用いる必要があり、強い水流で石が押し出されることもあるので、定期的なチェックが必要である。利点は、コストがコンクリート製の1/3ですむこと、部分的な修理が行いやすいことなどである。この他、前述の木材も水流転換用の堰として用いられる。

1962年から1980年にかけて土壌保全局が計画実施区域内の約180の保有地で行なった諸工事の概略は次の通りである (SCA 1981 j)。

植物保護 (家畜よけ) 柵 全長467km

擁壁	8,500箇所	溝渠埋立て用シュート	30箇所
さし木	675,000本	石堰	20箇所
苗木	45,000本	溝渠内部安定用コンクリート建造物	35箇所
cane grass の定着	175箇所	溝渠頂部の地固め作業	300箇所

Photo 3 家畜よけの囲いの中で育つ若木
(1982年12月、カスタートンの牧場にて筆者撮影)

古タイヤ建造物	65箇所	溝渠内部の地固め	全長 7,660m
水流転換用堤防	全長 6,000m		

(3) 計画の成果と今後の問題

20年間にわたる努力の結果、かつてはとどまるところを知らぬかに見えたグレネルグ河流域の土壤侵蝕は、ある程度まで制御された。現在では、溝渠の内部は何らかの植物でおおわれている。多数の家畜によって踏み荒され、裸地化したクリーク沿いの極度な侵蝕は、牧場内の溜池の建設を奨励することによって制御され、植生も回復しつつある。地すべりが止まったことによって、道路の交通の危険も減少した。牧草地の生産性も向上し、下落した土地価格も序々に上昇した。草地、森林の改良は、野生動物や鳥類に有利な生棲条件をもたらしつつある。とりわけ前述の、Wannon 河流域の変化はめざましい。かつては土砂の堆積がひどく、“swimming hole”と化していた小河川の水流が回復し、周辺の放牧地や耕地が冠水する頻度も減少した。Casterton や Coleraine の町が洪水に見舞われる危険もなくなった。もとより、グレネルグ河流域全体をヨーロッパ人の入植以前の状態に復元することは不可能であるが、この官民一体となつてのこの大規模な土壤保全計画の成果は充分評価に値しよう。

しかしながら、今なお多くの重大な問題が残されているのは事実である。例えば、主要河川や大きな支流の河岸侵蝕は現在も進行しつつある。かつては台地の景観美の特徴となっていた red gum や低木林も殆んど失なわれたままである。また、河川やダム塩分の塩分は依然として著しく濃いし、農業排水の流入による水質汚染も深刻な問題である。地下水面上昇も期待されたほどは制御されていない。1982年にビクトリア州を見舞った40年振りの大旱魃が、これまでの努力の成果を大幅に後退させる恐れも充分にある。

オーストラリアの乾燥圏、あるいは半乾燥圏のような苛酷な自然条件のもとで行なわれる生産活動にとって、政府の適正な判断と指導が必要なことはいうまでもない。各州政府は、これまでも自然環境の悪化の防止のために、巨額の出費を伴う種々の対策を講じては来たが、地域住民の意識の強化には大して努力せず、事業のための事業という感がある、とさえいわれている。一方、地域住民の無関心な、自己中心的な態度もかねがね問題とされており、両者の協力体勢の不充分さが、諸計画の効果を半減させていたともいえる。このグレネルグ河流域計画のこれまでの成功は、地方自治体と地域住民との協力に負うところが多く、今後の環境保全問題にとって一つの参考となるであろう。

人間による自然破壊は、もとより農業活動だけが原因ではない。流域内においては現在のところ、大規模な都市開発や工場の設置、交通機関の発達、道路網の拡張、観光業の促進などは見られない。しかし、鉱業資源の開発は、South Western District 全般にわたって比較的古くから行なわれている。金、銅、鉄、錫、マンガン、コバルト、モリブデンなどの他、黒炭、長石、石英、雲母、またトパーズ、ルビー、ガーネット、ダイヤモンドなどの採掘が行なわれている。乾期には内陸の幾つかの湖で岩塩も採集される。採石場も数多く、建築、道路建設の原材として玄武岩、流紋岩質石英安山岩、花崗岩、片岩、砂岩、火山岩滓、石灰、砂利など、合わせて年間約92万トン³⁾が採石されている (LCCV 1979 c)。今回の研究対象地域内では、これらの鉱業活動が農業開発と対立する例、あるいは自然破壊の直接の原因となっている例は見られなかったが、オーストラリア全体としては、これもまた深刻な問題となっている。

IV. 結 び

筆者は本稿を通じて、新大陸の自然環境が植民地開発、とりわけ放牧を伴う農業活動によって、如何に短期間のうちに破壊されるか、そしてその回復が如何に困難なものであるか、に関する若干の考察を試みた。グレネルグ河流域計画は、人間が、そのもたらした自然破壊の恐ろしさを認識し、それに対処しようと試みた一つの事例である。オーストラリア政府は、全国の土壤保全のために今世紀末までに6億7000万ドルを計上しているが⁴⁾、このような大事業は地方自治体と地域住民双方の的確な認識と協力なしには到底達

成不可能である。

元来、乾燥圏で生活を営む農民は概して旱魃を契機として進行する土壌の塩化、侵蝕を不可抗力な現象、共存せざるを得ない宿命的なものと考え、人間の生産活動がもたらした結果は見落しがちである。1930年代のグレート・プレーンズの大旱魃に際しても、合衆国政府が土壌の荒廃を国家資源の重大な損失と見做し、保全対策への協力を求めたのに対し、農民はこれを余分な手間と出費と考えていたといわれる(Heathcote)。土壌の荒廃が進み生産性が失なわれると、農民は新しい土地を求めて移動するか、または都市に移住して新たな職を求める。オーストラリアでもしばしば見られる傾向である。文明を築き、自然環境を破壊し、その跡に荒野を残して立ち去った古代の人々の犯した誤ちは、今もなお繰り返されているといえよう。

地球上の人口が50億に近づきつつあり、食糧資源の涸渇が差し迫った問題となっている今回、土地生産性の回復が新たな資源の開発と同様に重要であることは、既に充分認識されている。国連をはじめ、種々の国際機構がこの問題の解決に乗り出し、援助活動も行なわれている。しかし、最も重要なのは、生産活動に直接たずさわる人間自身の充分な認識であることを、ここで改めて強調したい。いずれにせよ、今後の国土開発に際しては、環境への影響評価がさらにいっそう必要となるであろう。

最後に、本稿を草するに際し、ビクトリア州の現地調査及び数多くの資料の提供に御協力いただいた、オーストラリアの関連諸機関並びに職員諸氏に心からの感謝を奉げたい。

註

- 1) 1906年の大洪水で、Casterton の町は完全に水没した。当時 Balmoral 観測地点におけるグレネルグ河の水位は4.27m、流水速度は1日4万6485メガリットルと記録されている。小規模な洪水は1910年、1915年にも起こっている。現在の町の人口は約2,500人になっている。
- 2) 本文中のドルは全て Australian Dollars である。1982年末の換算レートは1米ドルに対し約90セントであったが、以前は米ドルよりも安かった。
- 3) この数字はビクトリア州の Land Conservation Council が South Western District の1974-75年の採石量として挙げたもので、グレネルグ河流域のみの数字は入手不可能である。
- 4) オーストラリアの場合、アメリカ合衆国とは異り、河川の水質改善、土壌保全などは主として各州政府の責任であり、独自の政策を採る場合が多い。したがって出資も各州政府の分担率が高い。各州の計上予算は不明であるが、この数字は連邦政府の補助金と見做すべきであろう。

文 献

- ABS (Australian Bureau of Statistics) (1982) : Year Book Australia 1981, Canberra, 290.
— (1983) : Year Book Australia 1982, Canberra, 312, 314, 331.
ABS (Australian Bureau of Statistics) Victorian Office (1973) : Victorian Year Book 1973 Centenary Edition, Melbourne, 32, 96-98.
— (1977) : Victorian Year Book 1977, Melbourne, 79.
— (1982 a) : Victorian Year Book 1982, Melbourne, 325.
— (1982 b) : Victorian Year Book 1982, Melbourne, 328, 343, 347-348.
CARTER, V. G. and DOLE, T. (1974) : *Topsoil and Civilization* (山路 健訳 (1975) : 土と文明。家の光協会), 1.
CLARK, A. H. (1956) : The impact of exotic invasion on the remaining New World Mid-Latitude Grassland. in Thomas, L. T. et al ed. "Man's Role in Changing the Face of the Earth", Univ. of Chicago Press, Chicago, 737-762.
CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization), Australia (1976 a) : ECOS-Environmental Research No. 8, Canberra, 4.
— (1976 b) : *ibid*, 7.
— (1976 c) : *ibid*, 5.
— (1980 a) : ECOS-Environmental Research No. 25, Canberra, 5.

- (1980 b) : Information Service Leaflet Sheet No. 1-32, 8p.
- DREGNE, H. (1977) : Status of desertification in arid regions (paper presented at the United Nations Conference on Desertification, Nairobi, Kenya, A.) (Conf. 74/31) 4-6.
- 福井英一郎 (1972 a) : オセアニア. 朝倉書店, 149.
- (1972 b) : *ibid*, 101-104.
- (1972 c) : *ibid*, 94.
- HALLSWORTH, E. G. (1976) : *Principles of Balanced Land-use Policy for Australia*. CSIRO Land Resources Laboratories, Canberra, 48pp.
- 橋爪若子 (1982 a) : 塩害になやむオーストラリア農業(1). 地理, 27, 6, 95-96.
- (1982 b) : 塩害になやむオーストラリア農業(2). 地理, 27, 8, 100-102.
- HEATHCOTE, R. L. (1980) : *Perception of Desertification*. The United Nations University, Tokyo, 109-116.
- HENSCHKE, C. J. (1980) : Saltland in statistics-the 1979 saltland survey. *Jour. of Agriculture*, W. A., 21, 116-119.
- Institute of Foresters (1980) : Tree Decline in Rural Victoria, Melbourne, 5-6.
- JENKIN, J. J. (1979) : Dryland Salting in Victoria, Soil Conservation Authority Victoria, Melbourne, 4.
- 北大路弘信・北大路百合子 (1982) : オセアニア現代史. 山川出版社, 9-10.
- 琴野 孝編 (1972) : オーストラリア経済の形成過程. アジア経済研究所, 53.
- LCCV (Land Conservation Council Victoria) (1979 a) : Report of the South-Western Area District 2, 73.
- (1979 b) : *ibid*, 17-19.
- (1979 c) : *ibid*, 241.
- (1981 a) : South-Western Area, District Review, 18, 20.
- (1981 b) : *ibid*, 24.
- (1981 c) : *ibid*, 7-8.
- (1981 d) : *ibid*, 29-30.
- (1981 e) : *ibid*, 65.
- (1981 f) : *ibid*, 73-82.
- MARSH, C. P. (1864) : *Man and Nature or Physical Geography as Modified by Human Action*. (Lowenthal, D. ed.), Bulkrup Press of Harvard Univ., Massachusetts, 10-13.
- SAUER, C. O. (1938) : Destructive exploitation in modern colonial expansion. in *Comptes rendus du congrès internationale du géographie*, Amsterdam 2, sec III-C, Géographie coloniale, Leiden, 496-499.
- (1956) : The agency of man on the earth. in Thomas, W. L. Jr. ed. “*Man's Role in Changing the Face of the Earth*”, Univ. of Chicago Press, Chicago, 54-56.
- St. BERBE BAKER, R. (1966) : *Sahara Conquest*. Lutterworth Press, London, 62-64.
- SCA (Soil Conservation Authority) Victoria (1977) : *Soil Salting of non-irrigated Land*. 10-11.
- (1981 a) : *Glenelg Catchment Project*, 4.
- (1981 b) : *ibid*, 18.
- (1981 c) : *ibid*, 8.
- (1981 d) : *ibid*, 14.
- (1981 e) : *ibid*, 8-9.
- (1981 f) : *ibid*, 21.
- (1981 g) : *ibid*, 22-23.
- (1981 h) : *ibid*, 24.
- (1981 i) : *ibid*, 29.
- (1981 j) : *ibid*, 40.
- VIPRO (Victorian Irrigation Research and Promotion Organization) (1981) : *Salt in Victoria*. 9.
- 渡辺 光 (1977) : 環境論の展開. 環境情報科学センター, 91 p.

(1983年3月16日受理)