

チリ共和国内陸乾燥地における水文調査と灌漑施設整備 —住民参加による水利施設整備の負担事例—

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 独立行政法人農業工学研究所 公開日: 2024-02-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 太田, 弘毅 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/0002000051

チリ共和国内陸乾燥地における水文調査と灌漑施設整備

住民参加による水利施設整備の負担事例

太田弘毅*

		目 次		
緒 言	1	1 調査流域の概況	5	
チリ共和国の国土と農業の概況	1	2 水文調査	7	
1 国土の概況	1	3 調査結果と考察	8	
2 農業の概況	2	灌漑施設と効果	11	
チリ住民参加型農村環境保全計画	2	1 灌漑水量の調査結果と考察	12	
ニンウエ区とサンホセ地区の概況	4	2 生育・収量の調査結果	13	
1 社会・経済概況	4	住民（農家）参加による灌漑施設の整備	13	
2 気象概況	4	結 言	15	
サンホセ地区における水文・水資源量の		参考文献	16	
調査	5	Summary	17	

緒 言

チリ共和国政府は、全人口のほぼ1/3にあたる低所得者層の経済的自立を、重要政策課題の一つとして掲げている。この低所得者層は、チリ中央部の南緯32度～37度にわたる第5州から8州までの内陸乾燥地で、天水農業を行っている農村部に多く居住している。チリ政府は、対象とする天水農業地帯に、水と土壌保全を踏まえた灌漑技術を導入し、この条件を生かした栽培作物の多様化と高品質生産によって、農業収入の増大を図る基本政策を策定した。この事業計画の立案と実施、普及に至るまで一連の技術移転を、住民参加型手法によって行う体制整備を目的として、1997年3月、我が国へ技術協力の要請を行った。

これをうけて、2000年3月より2005年2月までの5カ年計画で、国際協力事業団（JICA）のプロジェクト方式技術協力「チリ住民参加型農村環境保全計画（CADEPA）」が開始された。プロジェクトのタイトルにある環境保全の内容は、利用可能水量の増大による水資源開発と侵食防止農法を中心とした土壌保全技術の開発である。

筆者は、本プロジェクトの灌漑・水資源の長期専門家として、2000年3月から3年間、首都サンチアゴ市から南

へ約400kmのチジャン市に所在するチリ農業省キラマップ農牧研究所（INIA）に派遣された。ここで、CADEPAの活動のうち、水資源開発と灌漑施設整備について調査を行ったので報告する。

なお、本調査の実施に際して、カウンターパートINIA研究員Hamil URIBE, Octavio LAGOS, Harald WAGEMANNの3氏、JICA長期専門家の眞鍋 紘氏（前高知県果樹試験場）、短期専門家として現地に來られた緑資源公団小林 勤調査役、奥田幸夫課長、成岡道男係長から御協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

チリ共和国の国土と農業の概況

1 国土の概況

チリ共和国は南米の南西岸に位置し、北は南緯17度30分のペルー国境から、南は南緯60度の南米大陸南端のホーン岬に至る。国土面積は、我が国の約2倍の757,000km²である。チリ国土の南北距離4,300kmを北半球で比較すると、サハリンの北端から遙か南方グアム島にまで及ぶ。東西の幅は広い所でも360km、平均で180kmと極端に細長い形状をなす。国土の西は太平洋に面し、東はアンデス山脈を経てボリビアとアルゼンチンに国境を接している。

国土は北端の第1州から南端の第12州と首都圏州の13の州に分けられている。首都サンチアゴ市は、第5州に隣接する首都圏州にある。州は我が国の関東、東海等の地域区分に相当し、州の下に県がある。日本との時差は、10月中旬から3月中旬の夏時間時が12時間、3月中旬から

* 所主任研究官

平成15年9月2日受理

キーワード：チリ内陸乾燥地，水収支法，孔隙率法，
点滴灌漑，事業費，負担金の軽減法

10月中旬の冬時間が13時間である。

2002年の人口は1,566万人、人口密度21人/km²、国民総生産が729億ドル、一人当たり国民所得は4,655ドルであった。

土地利用をTable 1に示す。農用地は国土面積の7%で、牧草地の占める割合が高い。森林31%、残りの60%強に鉱工業用地、市街地があるが、大半は砂漠と氷河等の不毛の地が占めている。

国土全体の年平均気温は14.2℃、年降水量は366mmである。北部は亜熱帯・砂漠気候、中部は海岸部の地中海性気候と内陸の乾燥気候であり、南部は温暖湿潤気候から寒帯気候を呈するなど、多様な気象条件を有する。

Table 1 チリ国の土地利用
Land use in Chile

1995年			
	面積 (km ²)	国土 面積比 (%)	農用地 の比 (%)
農用地	55,000	7.3	100.0
農地	13,200		23.9
牧草地	41,800		76.1
森林	238,000	31.4	
砂漠, 氷河 鉱工業用地, 市街地	464,000	61.3	
合計	757,000	100.0	

2 農業の概況

1995年の統計によると、農家戸数は302千戸、農業就業人口81万人、1戸当たりの農地面積は18ha、農業部門のGDPは46億ドルで全GDPの7%に相当している。北部の第1州から4州にかけては、アンデス山脈の雪解け水と亜熱帯気候を利用して野菜の促成栽培を行い、中部の都市部に供給している。

本プロジェクトの対象地区がある中部の第5州から8州の内陸乾燥地は、細長い丘陵が南北に連なり、流域の懐が狭くてダム適地が少ないため、天水農業が主体である。灌漑を必要としない小麦、豆類、在来種のワインブドウ等が栽培されている。起伏の多い傾斜地に農地が分布し、地力回復のために休耕が必要であること、また牛馬耕が主体のため生産性は低い。同じ中部の第5州から8州にかけての中央平地においては、アンデス山脈の雪解け水を利用した首都圏や近郊都市、外国向けの大規模農業生産が行われている。海岸乾燥地域では、地中海性気候を利用した輸出用の果実が生産されている。

第9州以南の地域は、冷涼かつ多雨であるため主として牧畜が営まれており、林業も盛んである。

チリ住民参加型農村環境保全計画

プロジェクトが対象としている内陸乾燥地の概況を、

Fig. 1に示す。第5州の北部から8州に分布する内陸乾燥地の面積は80万haである。この地区の東西方向の地形は、西は太平洋に隣接して標高1,000m未満の海岸丘陵があり、その東側斜面に内陸乾燥地が位置し、さらに南北に細長い盆地状の中央平地を経て、アルゼンチンとの国境のアンデス山脈へと連なっている。

内陸乾燥地の年平均気温は13~15℃で、年降水量は400~1,000mmである。内陸乾燥地には、侵食を受け易く、かつ固結しやすい花崗岩風化土壌が分布している。このため5月から7月にかけての雨期、加えて雨期前後の4月、8~9月には降雨による土壌侵食が著しく多発する。

土壌侵食の原因は気象条件以外に、代表事例として示すTable 2の伝統的な耕耘法にもある。これは、土壌が膨軟になる雨期末期から9月にかけて牛馬が牽引する鋤による荒起しを行い、裸地状態で休耕されるため、この期間の雨によって侵食を受ける。その後、翌年の雨期の始めに再度耕耘して播種する。しかし播種後も、作物の初期生育段階は農地が裸地に近い状態で雨期を越すことになり、さらに侵食が進行する。休耕と荒起しを組み合わせた耕耘法は、農業機械をほとんど持たない農家が、乾期の水分蒸発で固結した土壌を播種直前に耕耘できないために考え出された方法で、これが慣行農法となってきた。

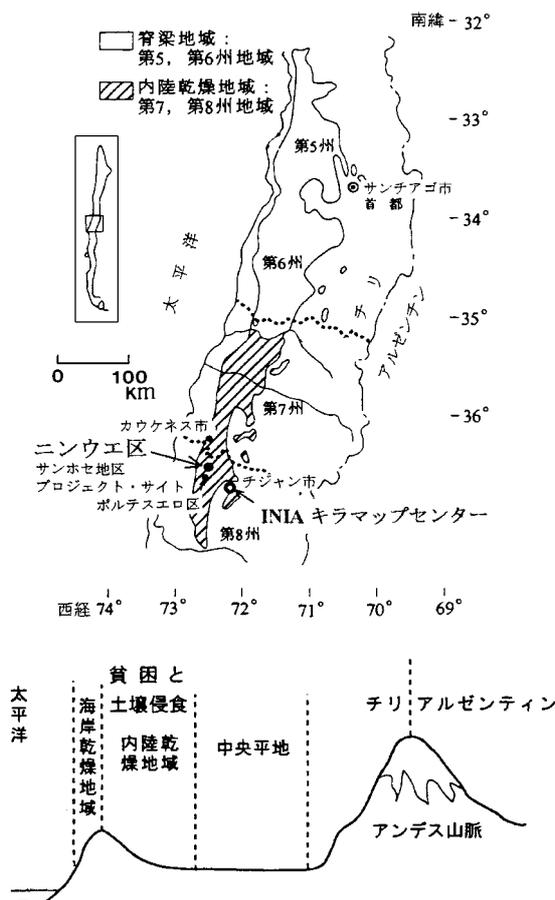


Fig. 1 チリ内陸乾燥地の概況
Outline in an arid area of inland Chile

Table 2 慣行的農法による小麦の作付方式
The planting method of wheat by a traditional cultivation

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1年目	収穫	休			耕			荒起こし		休 耕		
2年目	休		耕		耕起・播種			小麦 生育				
3年目	収穫	休			耕			荒起こし		休 耕		

プロジェクトでは、土壌保全農法として機械による最少耕起 (minimum tillage) ・播種法の導入を行っている。この最少耕起によって、播種する部分を筋状に耕耘して、出芽、生育させるもので、条間にあたる部分は耕起しないので、耕起部分は全面積の数%に止まる。これが圃場の等高線沿いに帯状に配置されるので、降雨による土砂移動も少なく、施用した肥料の効果も顕著に現れて、環境への負荷が少ない技術とされている。

しかしながら最少耕起法は効果的な土壌保全農法となりえても、これが短期間に農家収入の増加をもたらすものではない。次に重要なことは、農家が土壌保全農法を永続的

に行うための経済的な動機付けを、農業省の地方機関がいかに与えるかということである。動機付けとして考えられるのは、灌漑を導入した商品作物生産による収入の増加である。このための灌漑方法としては、地下水や簡易な溜池築造によって農業用水を確保し、点滴灌漑等による節水化を図ることである。農業工学に係る水資源開発と灌漑施設整備には、対象地区の水文調査と新たに導入を図る作物の灌漑水量、それを可能とする住民参加型の灌漑施設整備法などの調査と実証が必要とされ、Table 3の年次計画によって研究を展開した。

Table 3 研究計画
Plans of studies

項目	年度	2000	2001	2002
1. 水資源調査	水文調査 水源水量の調査			
2. 実証圃における灌漑調査	果樹の点滴灌漑調査 野菜の点滴灌漑調査			
3. 灌漑施設の普及調査	住民参加型の灌漑施設整備調査			

：研究実施期間

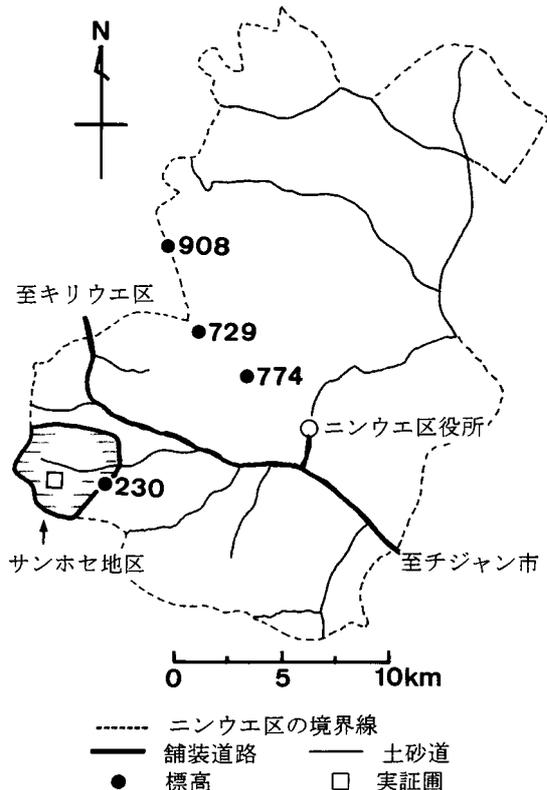


Fig. 2 プロジェクトの位置図
Location map of the project

本プロジェクトでは、Fig. 2に示す第8州ニューブレ県ニンウエ (Ninhue) 区のサンホセ (San Jose) 地区において、水と土壌保全技術を実証している。区は日本の町・村に相当する。プロジェクトの実施体制はFig. 3のとおりであり、チリ農業省の関係機関と日本人専門家の緊密な連携の下で推進されている。

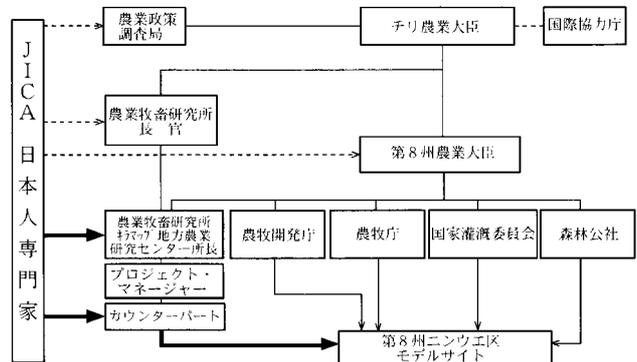


Fig. 3 プロジェクトの組織図
Organization chart of the project

ニンウエ区とサンホセ地区の概況

1 社会・経済概況

ニンウエ区は、内陸乾燥地の南部に位置し、面積40,000haで19の地区（日本の集落に相当）がある。プロジェクトの実施地区であるサンホセ地区は、ニンウエ区の南西端に位置し、区面積の5%に相当する面積2,000haで、東西に約5 km、南北に4 kmである。

Table 4によると、2000年のニンウエ区の人口は5,900人で、このうちサンホセ地区は381人、世帯数100戸である。1世帯平均3.8人で、21戸は65歳以上の高齢世帯となっている。地区には不在地主所有地が1,373haあって、地区面積の70%弱を占めているので、居住世帯所有面積は627haで地区のほぼ30%である。一戸当たりの農地所有面積は0 ha（2戸）～60ha（1戸）に分布し、50%弱が2 ha以下の零細経営農家で、平均で6.2haである。

サンホセ地区の居住世帯所有地は、小麦16%、ブドウ9%、野草地（休閑地）と山林面積が75%を占める。この地区は、19世紀中葉から始まったアメリカ西部のゴールド・ラッシュ時代には小麦を輸出し、そのために丘陵地の樹木を伐採して小麦畑としたが、その後、アメリカ、オーストラリア等の安価な小麦におされて輸出は止まった。

その後、チリ政府としても、農産物の海外・国内市場対策、農業に対する財政措置、農業生産力の増強と生産性の向上対策を進めてきたが、融資に対する償還能力が高い大農を主対象としてきた。中小農家への補助金交付は少額であったため、内陸乾燥地の零細農家は、施策から取り残されてきたのが実態である。この間、小麦の不作付け地に団地としてまとまった植林もなされなかったため、Fig. 4のような禿げ山の景観を呈している。

主食である小麦の一戸当たり栽培面積は0 ha（30戸）～7 ha（1戸）に分布し、60%弱が0.5ha以下、平均でも1 haであり、収穫物のほとんどが自家消費となる。小麦を栽培しない家が3割を占めるが、これは高齢化によって牛馬耕ができないためであり、近隣や販売店から購入している。一方、ブドウの栽培面積は0 ha（28戸）～7 ha（1戸）に分布し、80%弱が0.5ha以下、平均で0.6haである。ブドウは灌漑を必要としない古い品種（パイプ）であるが、酸味が強いのでワイン工場の引き取りが少なく、これも自家消費が多い。

牛、馬、豚、羊、鶏も飼育されているが、牛と馬は農耕用、豚、羊、鶏のほとんどが自家消費である。以上に総じて自給自足的な生活が一般的であるが、現金収入は麦わら帽子作りで月収20,000ペソ（約4,000円）位になる。青年はサンチアゴ等の都市に転出する人が多い。

Table 4 ニンウエ区とサンホセ地区の概況

A general condition of the Ninhue village and the San Jose sector

	人口 (人)	世帯数 (戸)	全面積 (ha)	居住者 所有面積 (ha)	小麦 (ha)	ブドウ (ha)	野草地(休閑地), 山林面積 (ha)	不在地主 所有面積 (ha)
ニンウエ区	5,900	-	40,000	-	-	-	-	-
サンホセ地区	381	100	2,000	627.0	101.1	58.4	467.5	1,373.0
比率 (%)			100.0	31.4				68.6
				100.0	16.1	9.3	74.6	



Fig. 4 サンホセ地区の景観
Landscape in the San Jose sector

2 気象概況

チリ共和国公共事業省と国家灌漑委員会が、1993～1998年の6年間に気象調査した結果が、Table 5である。ここで、気温は日別の最低、最高の平均値から月平均気温

が算定されている。月最高気温は1月の20.3℃、最低気温が7月の8.5℃、年平均気温は14.3℃である。ちなみにニンウエ区の四季は、春（9～11月）、夏（12～2月）、秋（3～5月）、冬（6～8月）となっている。

年降水量の平均値は775.6mmであり、降雪は無い。降水量の多い雨期5～7月の3カ月間で年降水量の60%が、雨期の前後を含めた4～8月の5カ月間で年降水量の80%が降る。11～3月の5カ月間は年降水量の7%しか降らない。従って、気象は5～7月の雨期、11～3月の乾期に分けられ、4月と8～10月は乾期から雨期、雨期から乾期への推移期に相当する。以下において、雨期、乾期、推移期の区分はこれによる。

年水面蒸発量は1,111mmで、年降水量の1.4倍強に相当し、乾燥の厳しさがうかがわれる。最大は1月の181mm、最小は6月の26mm、蒸発量の多い11～3月の乾期で

740mm蒸発し、これは年蒸発量の70%に相当している。

ニンウエ区近傍の内陸乾燥地に属する降水量測定地点の位置がFig. 5で、4つの地点は概ね70km四方に位置している。対数確率紙法で算定した確率降水量を、Table 6に示す。これによると、降水量はカウケネス市<ニンウエ区<チジャン市、ポルテスエロ区の順で大きく、内陸乾燥地の北部ほど降水量が少ない。

この地域においては、1998年が極端な少雨年であり、その時の年降水量と対応する確率年が、Table 6の右端である。ニンウエ区で50年に一度、カウケネス市で200年に一度の干ばつに相当している。

この年には、サンホセ地区の100戸の井戸の約7割が枯渇して、給水車による配水がなされた。一方で、ワインブドウの糖度が増して、極めて良質のワインが生産された。

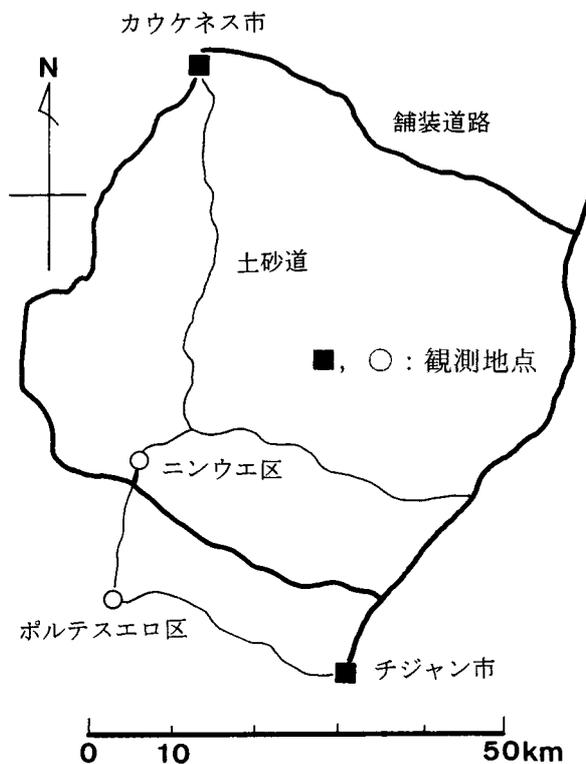


Fig. 5 降水量の観測地点
Observation points of the precipitation

Table 5 ニンウエ区の気象
Weather in the Ninhue village

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
気 温()	20.3	18.6	16.8	14.4	11.0	10.0	8.3	10.1	11.3	14.2	16.7	19.4	14.3
降 水 量(mm)	1.9	5.7	14.8	79.6	125.2	197.9	145.2	81.4	48.5	44.9	17.7	12.8	775.6
水面蒸発量(mm)	181	142	110	66	39	26	30	44	67	102	133	171	1,111

Table 6 ニンウエ区及びその近傍の確率降水量
Statistics of precipitation in the Ninhue village and its neighbor counties

確率年(年) 観測地点	年 降 水 量 (mm)						日 降 水 量 (mm)						1998年の 年降水量 (mm)	確率年 (年)
	5	10	20	30	50	100	5	10	20	30	50	100		
ニンウエ区	550	465	400	380	340	310	92	117	145	155	180	208	389.7	50
ポルテスエロ区	860	760	690	670	610	570	-	-	-	-	-	-	-	-
カウケネス市	455	380	330	315	280	250	73	83	94	97	107	117	228.6	200
チジャン市	840	750	670	650	600	555	100	118	135	140	156	170	-	-

サンホセ地区における水文・水資源量の調査

サンホセ地区は零細農家が多いため、アンデス山脈の雪解け水をダムに貯水して、100km以上も離れた受益地へ送水することは現実的ではない。プロジェクトでは、水源施設や送水施設費を極力抑えるため、灌漑地と同じ流域で水源を確保することとしている。水源としては、表面流出水と地下水が想定される。これら水源水量の推定に用いる水収支式の構成要素である降水量、表面流出量、蒸発散量算定のための土壌水分量を測定した。

1 調査流域の概況

Fig. 6に示すサンホセ地区の北東部に位置するサンホセ川流域のA、Bの2つを調査流域とした。A流域の右支川上流にB流域が位置する。調査流域の全体を占めるA流域は面積725haで、サンホセ地区の約40%に相当する。B流域は面積15haである。

a 地形特性

A流域およびB流域の地形特性を、1/10,000地形図上で調査した結果を、Table 7に示す。この表から分かるように面積、流路延長、流域平均幅、流域周長は、それぞれA流域がB流域の48、6、9、7倍である。流域形状は

A流域が台形, B流域は扇形である。主流路の平均傾斜は, A流域が4%, B流域は7%となっている。

b 土地利用

調査流域の土地利用を, 1/10,000地形図上と聞き取りで調査した結果を, Table 8に示す。A流域では野草地(休閒地)の占める割合が74.9%と高く, 以下, 山林, 小麦, ブドウの順で, 農地合計としては9.8%となっている。B流域では野草地(休閒地), 山林がほぼ等しく27%弱, 小麦26.7%, ブドウ20%であるため, 農地合計としては46.7%となっており, B流域の農地比率が高い。山林は, いずれの流域とも沢沿いに分布し, 多くは砂防や自家用材として植えられたラディアエタ松, ユーカリとポプラである。

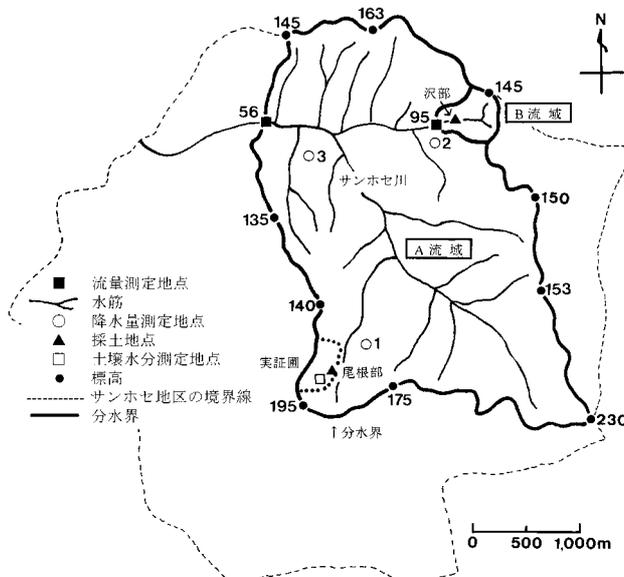


Fig. 6 サンホセ川流域の概況
Outline of the San Jose river basin

Table 7 流域の計量地形特性
Topographical feature of the river basin

流域名	面積 (ha)	流路 延長 (km)	流域 平均幅 (km)	流域 周長 (km)	形状	最低 標高 (m)	最高 標高 (m)	標高差 (m)	主流路 傾斜 (%)	降水量測定地点名	標高 (m)
A	725	4.3	1.7	13.6	台形	56	230	174	4.1	1 2 3	118 122 81
B	15	0.7	0.2	1.9	扇形	95	145	50	7.1	2	122

Table 8 流域の土地利用
Land use in the river basin

流域名	面積 (ha)	農地			野草地 (休閒地) (ha)	山林 (ha)
		小麦 (ha)	ブドウ (ha)	農地計 (ha)		
A	725	47	24	71	543	112
比率(%)	100.0	6.5	3.3	9.8	74.9	15.3
B	15	4	3	7	4	4
比率(%)	100.0	26.7	20.0	46.7	26.7	26.6

c 土壌の物理性

流域を目視したところでは, 長年の雨水侵食作用によって表層土の浅い尾根部と, 侵食された土砂が堆積する沢部に区分された。土壌の物理性を調査するため, Fig. 6の印地点で採土した。尾根部の採土地点はプロジェクト実証圃に位置し, 沢部の採土地点は農家のブドウ畑に位置し, 2002年9月中旬に採土した。

土壌断面をFig. 7, 土壌の物理性をTable 9に示す。尾根部の採土地点は標高150mの傾斜12度の均一斜面に位置し, 15年程の休耕・放牧の後, 2001年より豆科牧草地として利用されている。休耕の期間は, 在来野草が繁茂していた。長年の休耕によって表土に相当するA層は無く, 0~50cmがB層, それ以下はC層となっている。B層は褐色, C層が黄褐色である。土性(日本農学会法)は0~

20cmが植壤土, それ以下は植土である。0~60cmが半風化の細礫や小礫有り, それ以下は含むとなっている。腐植は0~20cmが有り, 20~40cmが含む, それ以下は無しである。植物根は0~40cmが稀に有り, それ以下は無しである。

沢部の採土地点は標高115mで谷底平地の傾斜8度の均一斜面に位置し, ブドウ畑(パイス種, 樹齢20~30年)として利用されている。このような土地利用であっても顕著なA層が無く, 0~60cmがB層で黄褐色, それ以下は湛水のため掘削できず不明である。土性は0~10cmが壤土, それ以下は砂壤土であり, 尾根部に比べると砂や礫が多く, 侵食された土砂の堆積がうかがわれる。全ての層位で小礫に富む。腐植は0~20cmが有り, 20~40cmが含む, それ以下は無しである。植物(ブドウ)根は0~40cmが有り, それ以下は稀に有りとなっている。

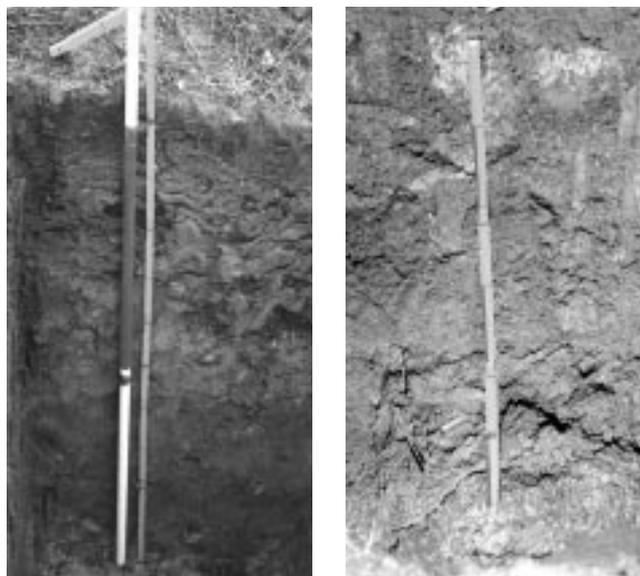
土壌の物理性を把握するために, 尾根部では表層から80cmまでの5層から, 沢部は表層から50cmまでの4層から100mlの不攪乱試料を採取した。測定項目は, 土壌硬度(山中式), 仮比重(絶乾法), 三相分布(土壌三相計), 粗孔隙量(砂柱法), 飽和透水係数(変水位法)である。また, 終期浸入速度はシリンドラー・インタークレート法である。

Table 9 によると仮比重と固相率は沢部が若干大きく、いずれも深さが増すにつれて暫増している。沢部の土壤硬度が深くなるほど低減しているのは、湛水による土壤水分の影響である。液相率は尾根部が大きく、気相率は沢部が大きい。粗孔隙率は沢部が大きく、飽和透水係数も沢部が大きい。尾根部の深さ30cm以下は粗孔隙が無きに等しく、透水係数は表層から下層まで 10^{-8} (cm/s) オーダーの難透水性土壤であり、重力水の下層への浸透の困難性がうかがわれる。一方、沢部は $10^{-3} \sim 10^{-5}$ (cm/s) のオーダーであり、透水性は中位から低いに分類される。終期浸入速度は透水性を反映して、尾根部が0.1mm/h、沢部は16.4mm/hとなっている。

2 水文調査

a 降水量

降水量はFig. 6の印の3地点で転倒柵型降水量計を用いて測定し、転倒数をデータ・ロガーで収録した。1転倒は降水量0.1mmに相当する。A流域の降水量は測定点1, 2, 3の平均値とし、B流域には測定点2が対応している。



尾根部 the upland area 沢部 the lowland area

Fig. 7 流域土壤の断面

Soil profiles in the river basin

Table 9 土壤の物理性

Physical properties of soils

地点	土層の深さ (cm)	土性	硬度計の読み (mm)	仮比重	採土時の三相			粗孔隙量 (mL/100mL)	透水性 (cm/s)	終期浸入速度 (mm/h)	層位	土色	礫	腐植	植物根
					固相 (%)	液相 (%)	気相 (%)								
尾根部	5	植壤土	20	1.77	65.5	30.6	3.9	2.7	5.9×10^{-8}	0.1	B	褐色	有	有	稀有
	15	植壤土	17	1.56	50.2	47.0	2.8	2.1	5.4×10^{-8}		B	褐色	有	有	稀有
	30	植土	17	1.58	61.2	37.5	1.3	0.0	4.0×10^{-8}		B	褐色	有	有	稀有
	50	植土	19	1.64	61.9	36.3	1.8	0.1	3.8×10^{-8}		B	褐色	有	有	無
	80	植土	23	1.72	65.4	32.7	1.9	0.7	6.9×10^{-8}		C	黄褐色	有	有	無
沢部	5	壤土	14	1.64	61.7	35.5	2.8	2.4	4.8×10^{-5}	16.4	B	黄褐色	富	有	有
	15	壤土	15	1.67	60.4	23.7	15.9	13.9	1.1×10^{-3}		B	黄褐色	富	有	有
	30	砂壤土	11	1.76	64.3	23.2	12.5	12.9	3.3×10^{-4}		B	黄褐色	富	有	有
	50	砂壤土	11	1.81	66.7	30.3	3.0	5.1	1.4×10^{-5}		B	黄褐色	富	無	稀有



A流域 A river basin



B流域 B river basin

Fig. 8 流出量の測定施設 Measuring weir

b 流出量

流出量の測定地点はFig. 6の印で示し、測定施設をFig. 8に示す。A流域は底辺2m、上辺5m、高さ1.7mの水路型測水堰であり、B流域は間口0.8m、狭窄部の幅0.4m、高さ0.4m、全長1.8mのパーシャルフルームである。いずれも水深(水圧)変動を、データロガーで集積して流量に換算した。

(1) A流域の水位 - 流量換算式

$$Q = 812.63H^5 - 349.79H^4 + 65.30H^3 + 3.65H^2 + 0.01H$$

$H < 0.2\text{m} \dots \dots \dots (1)$

$$Q = 5.41H^2 + 2.70H - 0.395$$

$H \geq 0.2\text{m} \dots \dots \dots (2)$

ここに Q : 流量 (m^3/s)
 H : 水深 (m)

(2) B流域の水位 - 流量換算式

$$Q = C(ha)^n \dots \dots \dots (3)$$

$$C = KW^{1.025} \dots \dots \dots (4)$$

ここに Q : 流量 (m^3/s)
 C : 流量係数
 h_a : パーシャルフルーム上流側の水位 (m)
 n : 3/2
 K : 形状係数
 W : パーシャルフルーム狭窄部の幅 (m)

c 土壌水分量

Fig. 6の尾根部の印地点を調査地点とし、豆科牧草地の深さ20, 40, 60, 80cmで中性子水分計を用いて測定を継続した。土壌水分は含水比として出てくるため、蒸発散量算定のための体積含水率への換算には、Table 9の尾根部の仮比重の値を用いて換算した。適用した仮比重は、土層深さ0~20cm 1.67, 20~40cm 1.58, 40~60cm 1.64, 60~80cm 1.72である。

3 調査結果と考察

a 流出量

(1) 一連続降水の流出量

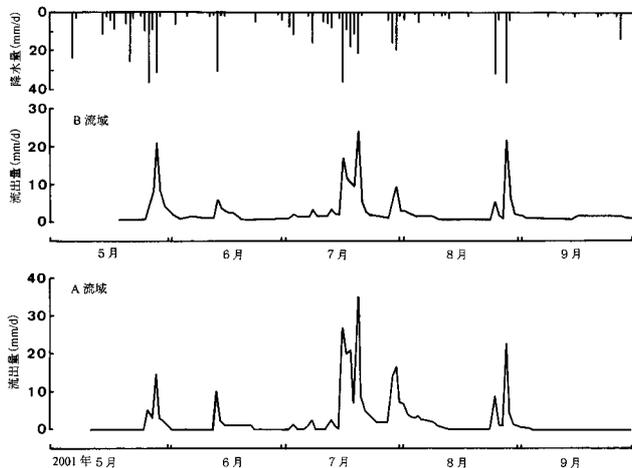


Fig.9 降水量 - 流出量図
 Precipitation-Hydrograph

一例として2001年5月から9月のA流域の日降水量、日流出量およびB流域の日流出量をFig. 9に示す。この場合の一連続降水は、流出量が増え始めた日の降水量を始期とし、流出量が初期流量まで減水した日を終期として算出した。これによって、Fig.10の降水量と流出量の関係が得られる。A, B流域とも、一連続降水量が多くなるほど流出量も多くなる傾向にある。雨期(5~7月)と乾期(11~3月)を比較すると、乾期を意味する白抜き点は、いずれの流域とも一連続降水量40~100mmにおいて流出量0mmに近い。雨期は一連続降水量が多くなると流出を生ずるが、乾期は降水量が多くても流出しないことがうかがわれる。乾期には蒸発散にともなって生ずる土壌空隙中への雨水浸透量の増大がもたらされ、ひいては流出量が極めて少なくなっている。これによって、雨期と乾期が明瞭に分かれている地域の流出特性を示している。

雨期とその前後の推移期(4月, 8~10月)の流出量に顕著な差は認められないものの、雨期始めの5月は、乾期の土湿不足の影響を受けて、流出量が少ない傾向にある。雨期初めの5月は、降水が多量に降っていない状態で浸透量が多く、流出量が少なくなっている。推移期の8月初めは、雨期の降水で未だ流域土壌が湿潤状態にあり、流出量が多い傾向にある。

(2) 月流出量と年流出量

降水量と流出量を月単位で整理したものを、Table10に示す。この場合も前項と同様な傾向にある。なお、月によっては流出量が降水量を上回る数値もあるが、これは前月の降水による流出が翌月まで継続するためである。

なお、A流域とB流域で降水量が同一でないのは、測定地点の距離が最遠点で2km離れていることと、調査点数の違いもあるが、2001~2002年の合計値で見ると、2つの流域は降水量、流出量、流出率とも類似しているため、流出率60%を一応の、年流出率の目安と考えられる。

b 土壌水分変化

体積含水率を水深に換算する場合の、土壌水分測定深さと対応する土層深さを、測点20cm(土層深さ0~20cm), 40cm(20~40cm), 60cm(40~60cm), 80cm(60~80cm)とした。

測定された含水比を、蒸発散量を算定するために体積含水率に変換した結果が、Fig.11である。含水率の変動幅は、測点20cmでは(3~34%)の31%, 40cm(17~42%), 60cm(22~36%), 80cmでは(24~35%)の11%となっている。

月別、層別別の蒸発散量は、次の仮定に基づいた土壌水分減少法によって算定された。Fig.11において折れ線が右上がりの期間は土壌水分が増加、すなわち蒸発散量はゼロ、右下がりの期間のみ蒸発散による土壌水分の減少がある。下層の土壌水分が上層に移動した後に蒸発することも考えられるが、ここでは、各土層から地表面へ孔隙が連

続して、体積含水率の減少分は各土層から直接空気中へ蒸発が起きている。

以上の方法で算定した月別、層別別の蒸発散量（土水分減少量）をTable11に示す。2001年10月から2002年9月の1年間における深さ80cmまでの合計蒸発散量は172.2mmである。時期別に見ると、11～3月の乾期は

114.4mm(66.5%),5～7月の雨期が26.4mm(15.3%),これら以外の推移期は31.4mm(18.2%)であり、乾期の蒸発散量が70%弱を占めている。土層の深さ別では、0～20cmの土壤表層における蒸発散量が85.4mmで全体の50%を占め、以下、深くなるにつれて漸減の傾向にある。

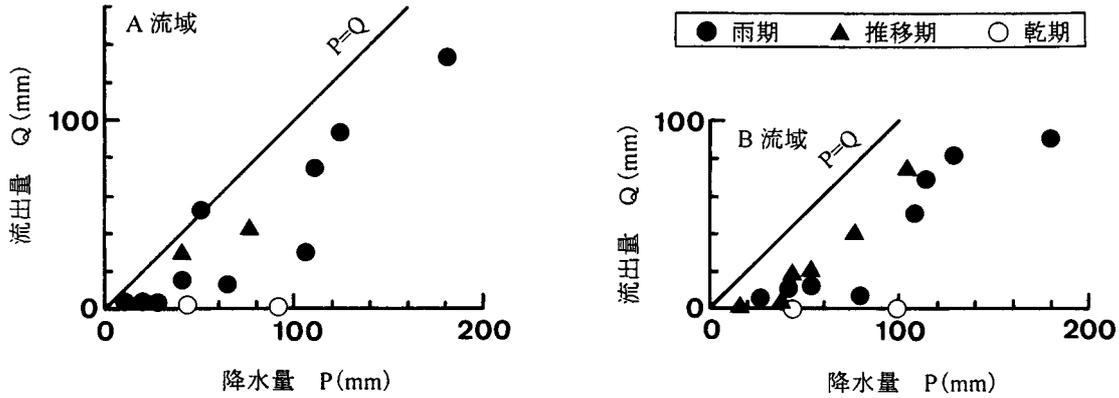


Fig.10 降水量と流出量の関係

Relationship between precipitation and runoff discharge

Table10 月降水量と月流出量
Monthly precipitation and runoff discharge

A流域

年 月	2001年									2002年							合計
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7		
降水量(mm)	155.9	58.8	181.8	97.7	23.1	12.9	12.4	3.8	0.1	93.8	53.7	39.5	175.6	93.7	126.6	1,129.4	
流出量(mm)	28.9	22.9	193.1	74.8	10.2	6.7	6.9	0.9	1.1	2.4	4.3	7.2	93.2	102.8	122.1	677.5	
流出率(%)	18.5	38.9	106.2	76.6	44.1	52.1	55.3	24.7	-	2.6	7.9	18.1	53.1	109.7	96.4	60.0	

B流域

年 月	2001年									2002年							合計
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7		
降水量(mm)	126.8	54.4	190.8	90.6	19.8	12.6	12.4	1.4	0.2	99.0	51.8	42.2	189.4	94.2	130.2	1,115.8	
流出量(mm)	55.2	42.0	131.8	62.0	31.5	21.6	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	18.8	80.4	107.2	133.5	691.5	
流出率(%)	43.5	77.1	73.2	68.4	159.0	171.1	60.2	0.0	0.0	0.0	0.0	44.6	42.5	113.8	102.5	62.0	

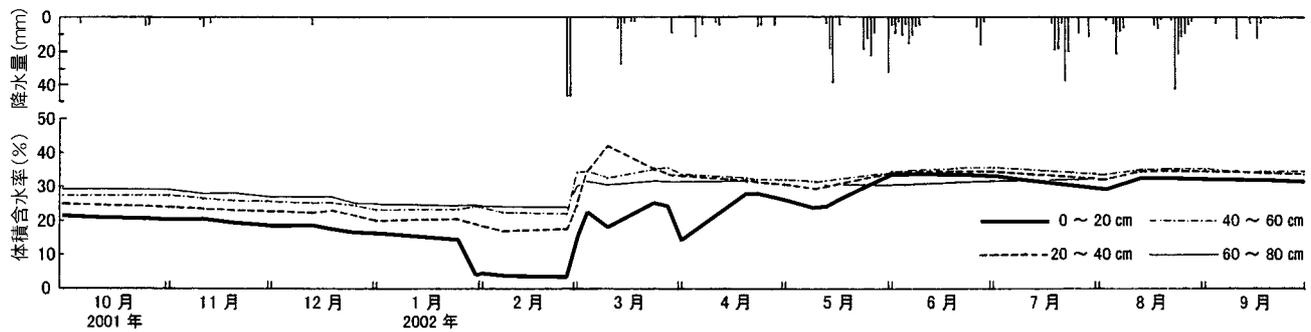


Fig.11 土壌水分の変動状況

Change in Soil moisture

以下において、蒸発散量を簡便に気象観測値から推定する方法の適用性を見るために、推定法別に蒸発散量を算定した結果が、Table12である。表において実測法とした値は、上記の土壌水分減少法を示す。ここで、ソーンズウエイト法、パン蒸発法は、それぞれ農業気象ハンドブック(坪井八十二ら,1974),FAO灌漑排水技術書(北海道開発

局,1986)によった。年間で見ると、ソーンズウエイト法とパン蒸発法は実測法の4倍、水面蒸発量は7倍になっている。ソーンズウエイト法は気温を基礎とし、かつ土壌が飽和状態の最大可能蒸発散量を意味しており、パン蒸発法は水面蒸発量を基礎とした推定法であることから、気温が上昇する10～2月にかけて値が大きく出る傾向にある。

Table11 層位別の月蒸発散量

Monthly evapotranspiration from the each soil layer

深さ 年,月	0 ~ 20cm (mm)	20 ~ 40cm (mm)	40 ~ 60cm (mm)	60 ~ 80cm (mm)	合 計 (mm)
2001年10月	1.8	2.2	0.4	0.2	4.6
11	4.0	2.2	3.2	4.2	13.6
12	4.2	5.4	5.0	4.4	19.0
2002年 1	24.0	3.8	0.0	2.2	30.0
2	2.0	1.8	4.0	1.0	8.8
3	29.8	7.0	4.0	2.2	43.0
4	3.4	5.6	3.6	1.8	14.4
5	4.6	2.0	1.0	1.8	9.4
6	1.0	0.2	0.0	0.0	1.2
7	7.4	4.4	4.0	0.0	15.8
8	0.6	0.2	0.0	4.4	5.2
9	2.6	1.6	1.4	1.6	7.2
合 計	85.4	36.4	26.6	23.8	172.2
比 率 (%)	49.7	21.1	15.4	13.8	100.0

さらに、土壌水分の測定深さ別のpFと体積含水率の関係を、Fig.12に示す。図においてpF3.0, pF3.7, pF4.2が、それぞれ毛管連絡切断含水量、初期しおれ点、永久しおれ点に相当する。この指標から前出Fig.11の土壌水分変動を見ると、深さ20~40cm以外は、多くの期間が毛管連絡切断含水量から永久しおれ点に分布し、土壌水分の移動が困難ないしは極めて困難な状況(五十崎ら, 1978)に該当している。特に、10~2月の間は、いずれの測定深さとも概ね初期しおれ点から永久しおれ点に分布している。

これらのことと、土壌水分測定地点は尾根部に位置し、前出Table 9に見られるように土壌の粗孔隙量が極めて少なく、降水の土壌中への浸透が困難なことが相まって、本来ならば気温が上昇して蒸発が旺盛になる10~2月の蒸発散量が少なく、実測法による値がソーンズウエイト法、パン蒸発法ひいては水面蒸発量よりも大幅に少なくなっ

Table12 測定法による蒸発散量の差異

Difference of evapotranspiration due to the methods of measurement

測定法	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
実 測 法 (mm)		30	9	43	14	9	1	16	5	7	5	14	19	172
ソーンズウエイト法 (mm)		114	85	74	53	34	27	22	32	40	63	83	109	736
パン蒸発法 (mm)		100	85	61	40	27	16	18	26	40	61	73	94	641
水面蒸発量 (mm)		181	142	110	66	39	26	30	44	67	102	133	171	1,111
比	/	3.8	9.4	1.7	3.8	3.8	27.0	1.4	6.4	5.7	12.6	5.9	5.7	4.3
	/	3.3	9.4	1.4	2.9	3.0	16.0	1.1	5.2	5.7	12.2	5.2	4.9	3.7
	/	6.0	15.8	2.6	4.7	4.3	26.0	1.9	8.8	9.6	20.4	9.5	9.0	6.5

いるといえる。これらのことは、乾期が顕著に現れ、かつ雨水浸透が困難な本プロジェクト実証圃のような土壌条件への、ソーンズウエイト法やパン蒸発法の適用は困難であることを示しているといえる。

c 年地下浸透水量の推定

サンホセ地区は水源涵養林が無きに等しいため、溪流は乾期の初めである11月末には涸れる。そのため、果樹類の灌漑用水を溜池で確保する場合は、水源が雨期の流出水に限られることから、溜池の規模は膨大になる。また、灌漑期の10~3月の水面蒸発量は840mmであり、水面蒸発の有効な防止法が無いのが現状である。従って、果樹類の灌漑用水は、井戸による確保が現実的である。

そこで、井戸水の供給源としての年地下浸透水量を推定した。推定に際しては、1年間以上の期間における水文調査結果である降水量、流出量、蒸発散量を水収支式に代入する水収支法と、水文調査が行われていない場合に適用される、地下水位の年変化と比産出量から算定する孔隙率法を用いた。

(1) 水収支法

1年間を対象として、次の水収支式を用いた。

$$P = D + E + G \dots\dots\dots (5)$$

ここに P: 降水量 (mm)

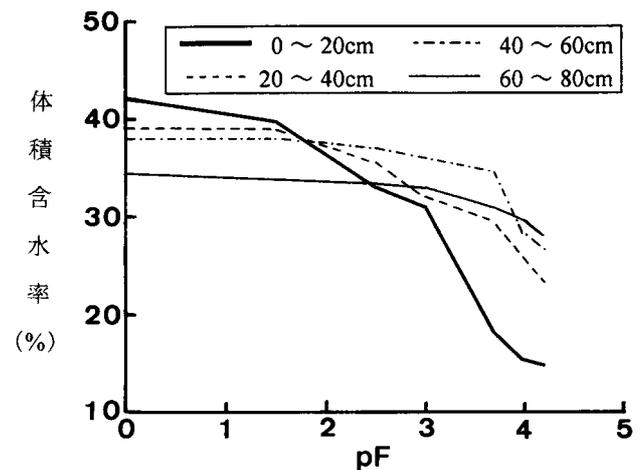


Fig.12 pFと体積含水率の関係

Relationships between pF and water content by volume

D: 流出量 (mm)

E: 蒸発散量 (mm)

G: 地下浸透水量 (mm)

前出Table10と11を基に作成された土壌水分測定期間の2001年10月~2002年9月の水収支項を、Table13に示す。ここで、流出量が降水量より多い場合は、流出量=降水量と仮定した。

ここでは年地下浸透水量を対象としていることから、(5)式に Table13 の個々の合計値を代入すると、 $G = 102.4\text{mm}$ となる。これに流域面積725haを掛けて体積換算すると、年地下浸透水量は742,400 m^3 となる。これは、地下浸透水（浅層地下水と深層地下水）の合計量を意味している。

Table13 水収支項
Items of water balance

水収支項 年,月	降水量 P (mm)	A流域の 流出量 D (mm)	蒸発 散量 E (mm)
2001年10月	12.9	6.7	4.6
11	12.4	6.9	13.6
12	3.8	0.9	19.0
2002年1	0.1	0.1	30.0
2	93.8	2.4	8.8
3	53.7	4.3	43.0
4	39.5	7.2	14.4
5	175.6	93.2	9.4
6	93.7	93.7	1.2
7	126.6	122.1	15.8
8	146.9	146.9	5.2
9	41.5	41.5	7.2
合計	800.5	525.9	172.2
地下浸透水量 G (mm)			102.4

(2) 孔隙率法

この場合も同様に1年間を対象として、次の式（市川正巳, 1973）を用いた。

$$G' = A \times h \times S_y \dots\dots\dots (6)$$

- ここに G' : 地下浸透水量 (m^3)
- A : 流域面積 (m^2)
- h : 地下水位の変化 (m)
- S_y : 比産出量（重力水が移動する有効孔隙率。本報文では、粗孔隙率で代替した）

h は聞き取り調査の結果、流域の43本の井戸の年平均値が2.48mであった。 S_y は、地下水位の変化範囲を勘案して、調査した最も深い土層の値とし、前出Table9の尾根部80cmの0.7%と沢部50cmの5.1%の平均値2.9%とした。

(6)式に個々の数値を代入すると、 $G' = 521,420\text{m}^3$ となる。前述の水収支法が孔隙率法の約1.4倍多い。この理由として、土壌の物理性調査は流域の2地点でしか行われていないため、 S_y の流域代表値としての適合不備が考えられるが、一方では以下のことが推察された。

土壌水分は深さ80cmまで測定されたが、前出Fig.11によると深さ80cmでも土壌水分変化があることから、深さ80cm以下でも蒸発散が起こっていると考えられる。仮に、深さ80cm以下の年蒸発散量を、20cm当たりでTable11の60~80cmの合計値23.8mmの1/2に相当する12mmと

仮定し、深さ130cmまでの蒸発散量を推定した。

水収支法による深さ0~80cmの年蒸発散量172.2mmに80~130cmまでの蒸発散量(2.5層×12mm=30mm)を加えると202.2mmになる。これを(5)式のEに代入すると、深さ0~130cmの年地下浸透水量の変化は、 $G' = 72.4\text{mm}$ 、体積換算すると524,900 m^3 で、孔隙率法で算定された521,420 m^3 に類似した値となる。これより、土壌の深さ1.3m位までが蒸発散に関与していると推定される。

d 灌漑用水源量の推定

前述の年地下浸透水量と農家が使用している年生活用水量を基に、A流域で新たに灌漑用水として利用可能な浅層地下水量を推定した。また、溪流には5月中旬から10月頃まで流水があり、冬期のハウス栽培用水として、溜池の利用が考えられる。この時期は農閑期に該当し、野菜・花卉類のハウス栽培による収入増加が期待される。そこで、前述の降水流出率を基に溜池水源量を推定した。

(1) 浅層地下水量の推定

聞き取り調査によると、A流域の農家は平均で1日当たり400Lの生活用水を使っており、45戸の年間使用量は6,570 m^3 となる。安全を見て2つの推定法で少なく出た孔隙率法による地下水補給量521,420 m^3 から、農家が生活用水として使っている地下水量の差514,850 m^3 が、地下浸透水は全て浅層地下水と仮定した場合の、A流域全体で平年における新たに灌漑用水として利用可能な浅層地下水量となる。ちなみに、生活用水量6,570 m^3 は地下浸透水量の1.3%に相当する。

一方、10年確率年降水量465mmの場合、流出量と蒸発散量は降水量に比例すると仮定すると、各々305.5mm、117.5mm、農家の生活用水量は平年に同じと仮定した場合、A流域全体で新たに灌漑用水として利用可能な浅層地下水量は、297,930 m^3 となる。

(2) 溜池水源量の推定

前出のTable10より、A流域の2001年5~10月の流出率は63.5%である。一方、前出のTable5において5~10月の降水量は643.1mm、別途算定した10年確率降水量は310mmである。いずれの場合も流出率は同一の63%と仮定し、表面流出水はほとんど利用されていないことから、A流域の溜池水源水量の最大値として、平年は2,960,175 m^3 、10年確率は1,427,525 m^3 となる。

灌漑施設と効果

実証圃は、前出のFig.6に見られるようにサンホセ地区のほぼ中央で、水文調査流域の南西端に位置し、その概況をFig.13に示す。東西方向約200m、南北(斜面)方向約450m、面積約8haの北向き斜面である。図の上部が標高が高い。最低標高126m、最高標高184m、平均傾斜約

7°で、中央に幅10~40m、深さ3m位のガリが形成されている。斜面は概ねガリに向かって傾斜する起伏の少ない均一斜面である。圃場の外周に幅員3mの管理道路が設置され、土地利用は果樹、ビニルハウス、最小耕起・播種法による小麦と豆類、小麦と豆科牧草の輪作、松や在来樹の植林が行われている。

なお、農家が技術導入する場合の初期投資を可能な限り抑える観点から、圃場は自然斜面を利用することとし、切土、盛土は行われていない。この土地は不在地主の所有地のため、実証圃として利用される前は、およそ15年にわたって野草を主体とする放牧草地として利用されてきた。

実証圃の下位からおよそ1/3の区域にブドウ、ピスタチオ(ナッツ)、オリーブ圃場とビニルハウスが整備された。ブドウ圃場は斜面方向5m×奥行き40mの200m²、ピスタチオ圃場が7m×85mの600m²、オリーブ圃場は6m×100mの600m²となっている。

ブドウはワイン用の3品種、各50本の150本、ピスタチオは製菓用の4品種、各6本の24本、オリーブは塩漬け用の5品種、各10本の50本の苗木が植えられた。植栽間隔は、ブドウ2.5m(斜面方向)×0.5m(奥行き方向)、ピスタチオ5m×5m、オリーブ4m×3.5mで、植栽列数は各々2列となっている。

果樹圃場の下位に、野菜生産のために間口6m、奥行き20m、面積120m²のビニルハウスが整備された。

果樹とビニルハウスの水源として、ビニルハウスのわきに直径1.5m、深さ10mの井戸が、斜面の上方に直径4m、深さ1.5m、貯水量14m³のスレート製の円柱(オーストラリア)型貯水槽が設置された。井戸とビニルハウスの標高は134m、果樹園137m、貯水槽154mとなっている。井戸の水はポンプで貯水槽に押し上げられ、その後、自然水圧で果樹園とビニルハウスに送水される。

果樹の点滴チューブの口径は20mm、吐出口の間隔は樹間隔に合わせてブドウ50cm、ピスタチオ5m、オリーブ3.5mとなっている。チューブの1樹列当たりの配管数は、ブドウ1本、ピスタチオとオリーブを2本にして灌漑強度を調節している。ビニルハウスでは、口径20mm、吐出口間隔10cmの多孔ホースが使われている。

1 灌漑水量の調査結果と考察

a 果樹類

果樹類は2001年9月下旬に植栽され、灌漑水量をTable14に示す。植え付け初年度のため、過灌漑による根腐れに留意しながら灌漑された。月当たりの灌漑回数はブドウが3~5回、ピスタチオは2~7回、オリーブが1~7回であり、ブドウは概ね全期間一定、ピスタチオとオリーブは夏期に増加している。1カ月当たり、1樹当たりの灌漑水量は、9~11月の春期が、ブドウ25L、ピスタチオとオリーブが各30L、12~2月の夏期は、ブドウ23L、

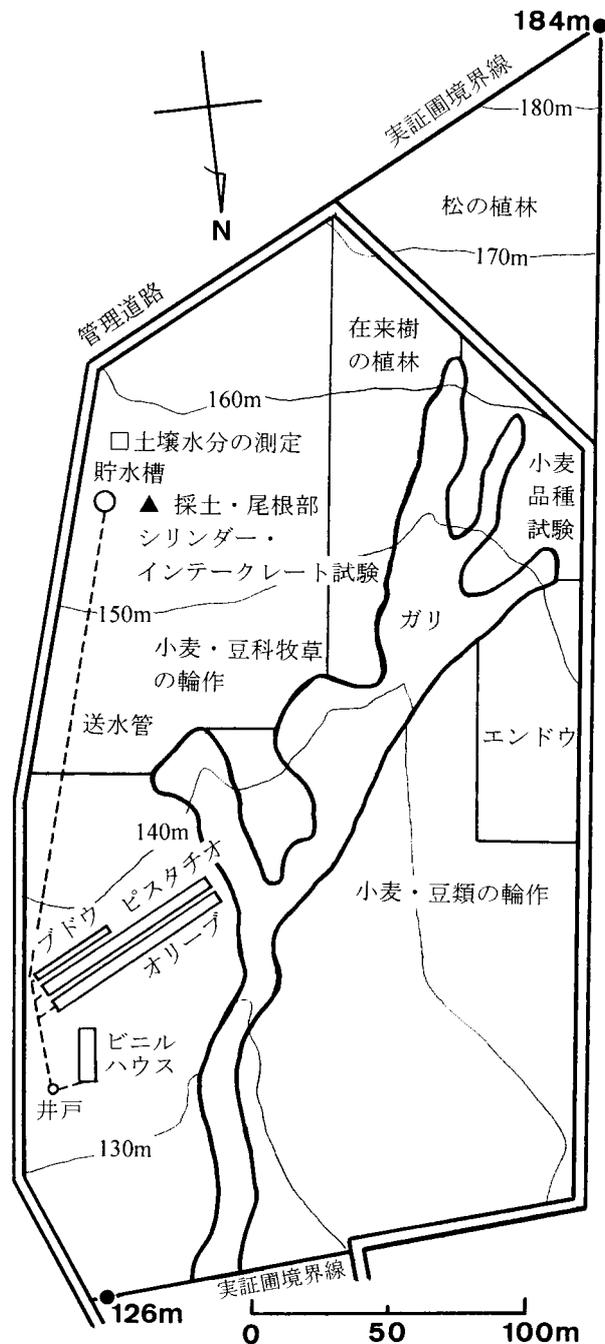


Fig.13 実証圃の概況

Outline of the demonstration field

ピスタチオとオリーブが各63Lであり、3~4月の秋期がブドウ20L、ピスタチオとオリーブが各35Lとなっている。ブドウは概ね全期間一定、ピスタチオとオリーブは夏期に倍増している。

b ハウス野菜

2002年5月下旬にレタス、ハウレンソウ、コエンドロ(セリ的一种)、オランダミツバの4種類の野菜が播種され、灌漑水量をTable15に示す。いずれの野菜とも4~5日間隔で、1回当たり5~15(L/1畦・18m当たり)が灌漑された。生育期間の全灌漑水量は、レタス、ハウレンソウ、

オランダミツバが同じで一畦当たり260L，コエンドロが若干少なく200Lとなっている。

Table14 果樹類の灌漑水量
Amount of irrigation water on orchards

果樹名 灌漑水量 年，月	ブドウ			ピスタチオ			オリーブ		
	一回の 灌漑 水量 (L/本)	月 灌漑 回数 (回)	月 灌漑 水量 (L/本/月)	一回の 灌漑 水量 (L/本)	月 灌漑 回数 (回)	月 灌漑 水量 (L/本/月)	一回の 灌漑 水量 (L/本)	月 灌漑 回数 (回)	月 灌漑 水量 (L/本/月)
2001年 9月	10	3	30	10	2	20	10	1	10
10	6	5	30	10	4	40	10	5	50
11	5	3	15	8	4	30	10	3	30
12	5	4	20	10	7	70	10	7	70
2002年 1	6	5	30	10	7	70	10	7	70
2	5	4	20	10	5	50	10	5	50
3	5	4	20	10	4	40	10	4	40
4	5	4	20	10	3	30	10	3	30

Table15 ハウス野菜の灌漑水量と収量
Amount of irrigation water on greenhouse vegetables and yield

野菜名	レタス	ハウレンソウ	コエンドロ	オランダミツバ
播種日	2002年5月21，22日			
灌漑方法	4～5日間隔で，1回当たり5～15(L/1畦・18m当たり)を灌漑			
生育期間の全灌漑水量(L/1畦・18m当たり)	260	260	200	260
収穫日	2002年8月23日	2002年8月26日	2002年8月2日	2002年8月27日
栽培日数	92	95	72	96
収量	412(g/株)	2.9(kg/m ²)	50(g/10本)	200(g/10本)
用途	サラダ	おひたし，油炒め	スープ等の香味料	スープ等の香味料

2 生育・収量の調査結果

a 果樹類

以下に，営農・栽培担当部門の調査結果の概要（眞鍋 紘、2003）を示す。

ブドウとオリーブは樹高50cm，ピスタチオは80cm程度の苗木を植え，8カ月後の2002年6月8日に生育状況を調査し，結果をTable16に示す。表でブドウの空欄は，冬期に全ての枝を摘除して主枝のみを残して管理されたことに，ピスタチオは枝数が少なく樹冠を形成するまでに至っていないことによる。

ブドウの総枝長は3～4mに，オリーブは樹高約1mとなって枝数も多く，総枝長は8～16mに成長して，極めて良好であった。ブドウは，植え付け2年後の2003年に1樹当たり10房ほど結実したが，樹体に負担をかけないため除去された。3年目の2004年から収穫が予定されている。オリーブも同様に2年後に1樹当たり5個ほど結実したが，除去された。2004年から収穫が予定されている。ピスタチオは，枝数，枝の伸張とも少ない傾向にある。類似したクリ等の果樹類では，植え付け後，一年間は生育が停滞することが多いが，ピスタチオもこの部類に入る果樹

のようであり，5年目の2006年から収穫が予定されている。総じて，ブドウ，ピスタチオ，オリーブは，市場での高値取引が予想される無灌漑では生育しない品種を供しているが，水分条件が満たされると，良好な生育を示すことが明らかになった。

b ハウス野菜

播種後2カ月半～3カ月経過後の，2002年8月2日～27日にかけて収穫が行われ，調査結果が前出Table15の下段であり，いずれの野菜とも，近在地域と概ね同様な収量であった。

住民（農家）参加による灌漑施設の整備

実証圃に整備された灌漑施設が動機付けとなって，2002年度はサンホセ地区の8戸の農家が，農業省農牧開発庁（INDAP）の地域農業開発プログラムに申請し，全て採択されて点滴灌漑施設を整備した。調査結果の概要をTable17に示す。なお，農家Hに関しては，費用明細を把握できなかったため，以下においては7戸の農家を主対象に解析結果を述べる。チリの基準通貨であるペソの円への

Table16 果樹類の生育状況
Vegetating conditions of orchards

果樹名	品種	調査本数 (本)	樹高 (cm)	樹冠径 (cm)	幹径 (cm)	幹周 (cm)	枝数 (本)	総枝長 (m)
ブドウ	Carmenere	14			1.18	4.08		4.01
	Sirah	16			1.11	3.96		3.16
	Sangiovesse	13			1.03	3.42		4.00
	全品種平均 植栽本数	43 150			1.11	3.83		3.69
ピスタチオ	Kernan	6	113.0		1.87	6.13	8.8	2.25
	Larnaca	6	142.0		2.92	9.65	14.2	3.00
	Alegina	6	100.0		1.83	6.15	2.3	0.23
	Peters	6	97.0		1.90	6.40	8.5	0.48
	全品種平均 植栽本数	24 24	113.0		2.18	7.08	8.5	1.49
オリーブ	Manzanilla	6	123.8	93.2	1.87	6.40	29.2	12.2
	Korinenki	7	92.6	85.1	2.23	7.79	48.6	15.7
	Pical	7	78.3	59.3	1.83	6.68	35.0	10.2
	Frantolo	6	94.6	85.7	1.55	4.71	30.1	8.3
	Arbequinia	6	114.2	71.5	1.61	6.03	35.2	8.3
	全品種平均 植栽本数	32 50	100.3	79.4	1.82	6.32	35.8	11.0

換算には、1ペソ=0.2円を用いた。

事業（灌漑）面積の合計は162a、一戸平均20aである。そのうちオリーブ110a（68%）、サクランボ17a（10%）、カリン35a（22%）で、オリーブが多いのはニンウエ区長の推薦による。当地区で栽培面積が多いブドウは、チリ国内でワイン生産が過剰気味のため、INDAPから融資を受ける場合には、事前にワイン工場と栽培契約を結ぶ必要があり、今回は事業対象になっていない。

事業費の合計は2,852千円、一戸平均356千円である。事業費は機材費、工事費、諸経費からなり、平均で機材費（58%）、工事費（31%）、諸経費（12%）である。機材費では、点滴灌漑機材費が90%程を占める。工事費は既存の井戸や貯水槽の利用など、工種によって実施する農家としない農家があるため傾向把握となるが、上位5位の比率は灌漑資機材の設置（28%）、貯水槽の建設（17%）、掘削とパイプ埋め戻し（17%）、井戸の掘削（11%）、ポンプ小屋の建設（6%）である。

諸経費は、コンサルタントに支払われる設計費（機材費と工事費合計の8%）と予備費（同じく5%）からなる。

INDAPからの補助金と当初自己負担率、労務提供による負担金の弁済（労務弁済）は、事業制度で定められている。補助金は事業費の75%、一戸平均で267千円、当初自己負担金は事業費の25%、平均で89千円となっている。労務弁済制度は、事業資金を十分に所持しない農家も、地域農業開発プログラムに参加しやすくするためにある。

労務弁済金の合計は511千円、一戸平均73千円である。労務弁済率は、当初自己負担金の82%を占めている。当初自己負担金と労務弁済金の差額である改自己負担金の合

計は115千円、平均16千円である。すなわち、改自己負担率は当初負担率の18%、対事業費では当初の25%から4%となり、自己負担率が大幅に軽減されている。

労務弁済は、農家による費目選択の自由度、外部発注が伴うために、前述の工事費と同様に傾向把握となるが、上位5位の比率は灌漑資機材の設置（33%）、掘削とパイプ埋め戻し（26%）、貯水槽の建設（17%）、井戸の掘削（12%）、井筒・煉瓦積み（6%）となっている。農家が自力で施設整備を行うことは、負担金の軽減のみならず、施設への愛着、維持管理、近隣における共同作業の進展の上から望ましく、住民参加型プロジェクトの基本といえる。

事業面積と10a当たり事業費の関係をFig.14に示す。事業面積が20a位までは面積の増加につれて事業費は漸減の傾向にあり、スケールメリットの効果がうかがわれる。

Table17 サンホセ地区農家の灌漑施設整備費
Project cost to construct irrigation facilities in the San Jose sector

農家名	単位(円)									合計	平均	比率(%)
	A	B	C	D	E	F	G	H				
①事業(灌漑)面積(a)	15	15	17	12	16	50	23	14	162	20.3	100.0	
オリーブ	15	15	17	12	13	15	13	10	110	13.8	67.9	
サクランボ					3		10	4	17	10.5	51.5	
カリン						35			35	21.6	107.0	
②事業費=(②-1)+(②-2)+(②-4) =(②-3)+(②-4)	387,326	394,171	270,733	346,906	418,459	417,180	269,850	346,906	2,851,531	356,441	8戸を抜	
②-1 機材費	212,597	216,578	153,102	221,127	227,737	233,728	175,161		1,440,030	205,719	57.5	
点滴灌漑機材	187,817	191,798	140,334	196,347	210,084	195,826	151,561		1,273,767	181,967	88.5	
ポンプ	24,780	24,780	12,768	24,780	17,653	37,902	23,600		166,263	23,752	11.5	
②-2 工事費	130,169	132,247	86,485	85,869	142,581	135,459	63,644		776,454	110,922	31.0	
井戸の掘削・更新	12,000	12,000	12,000	12,000	15,000	24,000			87,000		11.2	
井筒・煉瓦積み	6,000		12,000	12,000	6,000				36,000		4.6	
ポンプ小屋の建設	10,000	10,000	10,000		10,000	10,000			50,000		6.4	
貯水槽の建設	36,000	36,000			36,000	26,000			134,000		17.3	
掘削とパイプ埋戻し	14,280	21,760	9,520	18,700	21,420	20,400	27,370		133,450	19,064	17.2	
灌漑資機材の設置	31,889	32,487	22,965	33,169	34,161	35,059	26,274		216,004	30,858	27.8	
電線の設置	10,000	10,000	10,000		10,000	10,000	10,000		60,000		7.7	
煉瓦とセメントの運搬	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000			60,000		7.7	
②-3 純事業費=(②-1)+(②-2)	342,766	348,824	239,587	306,996	370,318	369,186	238,805		2,216,482	316,640		
②-4 諸経費	44,560	45,347	31,146	39,910	48,141	47,994	31,045		288,143	41,163	11.5	
設計費=(②-3)×0.08	27,422	27,906	19,167	24,560	29,625	29,535	19,104		177,319	25,331		
予備費=(②-3)×0.05	17,138	17,441	11,979	15,350	18,516	18,459	11,941		110,824	15,832		
③ INDAPからの補助金=②×0.75	290,495	295,628	203,050	260,180	313,844	312,885	202,387	260,180	2,138,649	267,331		
④ 当初自己負担金 =②×0.25	96,831	98,543	67,683	86,726	104,615	104,295	67,463	86,726	712,882	89,110		
⑤ 労務提供による弁済金	84,169	89,760	66,485	75,869	90,581	58,400	45,854		511,118	73,017	100.0	
井戸の掘削・更新	12,000	12,000	12,000	12,000	15,000				63,000		12.3	
井筒・煉瓦積み	6,000		12,000	12,000					30,000		5.9	
ポンプ小屋の建設			10,000			10,000			20,000		3.9	
貯水槽の建設	20,000	36,000			20,000	12,000			88,000		17.2	
掘削とパイプ埋戻し	14,280	21,760	9,520	18,700	21,420	20,400	27,370		133,450	19,064	26.1	
灌漑資機材の設置	31,889	20,000	22,965	33,169	34,161	16,000	10,000		168,184	24,026	32.9	
電線の設置							8,484		8,484		1.7	
⑥ 改自己負担金=④-⑤	12,662	8,783	1,198	10,857	14,034	45,895	21,609		115,038	16,434	100.0	
⑦ 労務弁済率(%)=(⑤/④)×100	86.9	91.1	98.2	87.5	86.6	56.0	68.0				82.0	
⑧-1 自己負担率(%)=(⑥/④)×100	13.1	8.9	1.8	12.5	13.4	44.0	32.0				18.0	
⑧-2 自己負担率(%)=(⑥/⑤)×100	3.3	2.2	0.4	3.1	3.4	11.0	8.0			4.0		
⑨ 10a当たり事業費(円)	258,217	262,781	159,255	289,088	261,537	83,436	117,326	247,790	1,679,430	209,929		

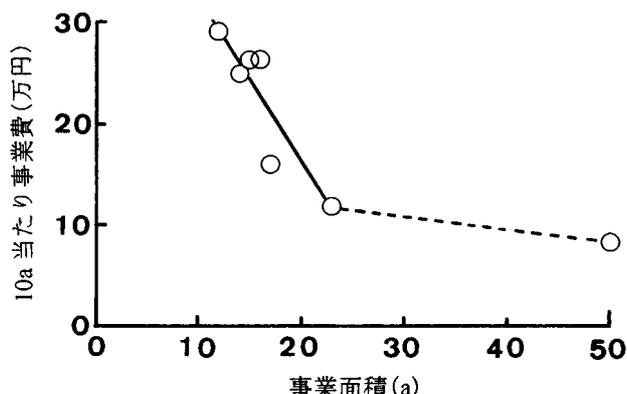


Fig.14 事業面積と10a当たり事業費の関係

Relationship between project area and project cost per 10a

結 言

JICAプロジェクトチリ住民参加型農村環境保全計画の一環として、内陸乾燥地に位置する第8州ニンウエ区サンホセ地区を主体に、水文調査、灌漑水源量の推定、灌漑施設整備の調査を行い、以下のことが明らかになった。

ニンウエ区近傍の確率降水量を算定した結果、1998年の年降水量は、50年から200年に一度の少雨に該当していた。サンホセ地区の尾根部は、緻密で粗孔隙量が少なく、飽和透水係数が 10^{-8} (cm/s)、終期浸入速度が0.1 (mm/h)と極めて透水性が悪く、沢部の透水性は中位か

ら低いに分類された。雨期と乾期では、降水流出に顕著な差異が見られた。降水の月流出率、年流出率が明らかにされた。

水収支法と孔隙率法によって、年地下水補給量が推定された。以上の結果を基に、10年確率の灌漑用水源としての浅層地下水量と溜池水源量が推定された。これは、新たに灌漑施設を整備する場合の基礎資料となる。

実証圃に点滴灌漑施設が整備され、果樹とビニルハウス野菜類の灌漑水量、生育・収量が明らかにされた。

サンホセ地区の8戸の農家が、農牧開発庁の融資を受けて、果樹を対象とした点滴灌漑施設を整備した。事業費の構成要素と比率、労務提供による自己負担金の軽減法が明らかにされた。これは、今後の灌漑施設整備の大きな動機付けになる。

今後は、チリ農業省がサンホセ地区をチリ内陸乾燥地における農業振興のモデルケースとするため、以下の取り組みを強化する必要がある。

- 1) 対象流域に所在する10~20戸程度の農家を対象に、土地利用計画、灌漑営農計画、灌漑施設整備計画の作成。
- 2) 表面流出水、浅層地下水、深層(岩盤)地下水を含めた複合的な水資源開発。深層地下水の探査や水文調査の継続による水源水量の予測精度の向上。
- 3) 高品質な作物生産のための灌漑管理法。

参考文献

- 1) 北海道開発局農業水産部 (1986) : FAO灌漑排水技術書, 北海道土地改良設計技術協会, 48~52
- 2) 市川正巳 (1973) : 水文学の基礎, 古今書院, 89~92
- 3) 五十崎恒・丸山利輔 (1978) : 理論応用かんがい排水, 養賢堂, 51
- 4) 眞鍋 紘 (2003) : チリ住民参加型農村環境保全計画営農・栽培長期専門家報告, 国際協力事業団, 9~12
- 5) 坪井八十二ら (1974) : 新編農業気象ハンドブック, 養賢堂, 808~812

Hydrological Surveys and Construction of Irrigation Facilities in Inland Arid Regions of the Republic of Chile

- A Case Study of Cost-Sharing Construction of Hydraulic Structures by Public Participation -

OTA Kouki

Summary

The results of estimating the probable rainfall in Ninhue Village and its vicinity in the Republic of Chile revealed that the annual precipitation in 1998 was equivalent to a record-low level which occurs once in 50 to 200 years. In the San Jose District, which is designated as the model project site, the permeability of the soil in the upland areas was extremely poor at a saturated hydraulic conductivity of the order of 10^{-8} cm/s and a basic intake rate of 0.1 mm/h attributable to the densely grained soil texture with few macro pores, whereas the permeability of the soil in the lowland areas was classified as medium to low level. The rainwater runoff was shown to differ conspicuously between the rainy and dry seasons, and the monthly and annual rainwater runoff rates were obtained. The amount of annual recharge in the shallow groundwater was estimated by the water balance method and the porosity method, based on which the amount of water stored in the shallow groundwater and reservoirs available as water resources for irrigation was estimated. These results will provide useful fundamental data for drawing up plans and designs when constructing new irrigation facilities in the future. Meanwhile, fruit trees and greenhouse vegetables were cultivated in the model fields where drip irrigation facilities were installed, based on which the amount of irrigation water required, the state of crop growth, and the yields of crop production were identified. Eight farming households in the San Jose District constructed drip irrigation facilities in their orchards with financial support from the Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP: Institute of Agricultural Development) which provided the farmers with advance loans for construction. The breakdown and the ratios of construction expense items incurred were identified, and a method for mitigating the burden on farming households in return for their labor was established.

These results will provide farming households with a strong incentive for constructing irrigation facilities in the future. To follow the model case of the San Jose District for promoting agriculture in the inland arid regions, the Ministerio de Agricultura (MINAGRI: Ministry of Agriculture) of Chile needs to take the following actions.

- 1) To implement an agricultural development project covering the entire San Jose District, plans for land use, irrigation farming, and the construction of irrigation facilities for the respective groups of 10 to 20 farming households, each group sharing the same single watershed, should be drawn up jointly with the departments in charge of farming and cultivation systems and soil management.
- 2) A comprehensive method for exploiting water resources, including the surface runoff water, shallow groundwater, and deep (bedrock) groundwater, should be developed.
- 3) The precision of estimating the water storage at source should be improved by prospecting the deep groundwater and conducting hydrological surveys on a routine basis.
- 4) An irrigation management method for producing high quality crops should be developed.

Keywords : inland arid regions of the Republic of Chile, water balance method, porosity method, drip irrigation, construction expenses, method for mitigating burden on farming households