琉球大学学術リポジトリ

森林の水源かん養機能に関する研究：1. 辺野喜ダム流域の貯留機能と流況特性(演習林)

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): 土壌の孔隙率, 流況特性, 水源かん養機能 キーワード (En): soil porosity, flow regime characteristics, water conservation 作成者: 山盛, 直, 周, 光明, 平田, 永二, Yamamori, Naoshi, Zhou, Guangming, Hirata, Eiji メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3755

森林の水源かん養機能に関する研究
1．辺野喜ダム流域の貯留機能と流況特性

山盛　直*・周　光明**・平田永二*

YAMAMORI Naoshi, ZHOU Guangming and HIRATA Eiji : Studies on the conservation of headwaters of forest 1. The storage capacity and flow regime characteristics of mountainous watersheds of Benoki dam

キーワード：土壌の孔隙率，流況特性，水源かん養機能
Key words : soil porosity, flow regime characteristics, water conservation

Summary

This work investigated the storage capacity and flow regime characteristics of mountainous watersheds of Benoki-dam and discussed conservation of headwaters.

1) Taking soil porosity as external criterion, an analysis of 9 environmental items such as topography, soil, and forest type by a quantification method, and then estimation of storages in watersheds, being based on the results of the analysis, demonstrated that the storages of post-construction was smaller in amount of about 120 m^3/ha than that pre-construction of the dam. The primary reason of this fact is forest cutting up to 24% of the watersheds for the dam construction, indicating clearly that forest cutting decreased the storage capacity of soils.

2) Calculation and comparison of flow regime characteristics from hydrological data of Benoki dam demonstrated that the hydrological regime of watersheds decreased due to cutting and recovered significantly in recent 6 years.

3) Analysis on the groundwater depletion curve for base flow gave that a fraction equation was properly fit, an average of depletion coefficients, β, was 0.0436, and β gave seasonable variations. That is, the major fraction of base flow discharge of the watersheds on Benoki dam is considered to be dependent on shallow soil layers.

はじめに

近年，地球環境の悪化に伴い，森林のもつ公益的機能に対する認識が高まり，森林の環境保全に果た

*琉球大学農学部附属演習林
**中国湖南省湘潭市林業設計隊（中国政府派遣研究員）
琉球大学農学部学術報告　42：139～146（1995）

す役割が重要視されてきた。特に，森林の水源かん養機能は，国民生活に直接関わりがあって，その機能に対する国民の期待は大きいものがある。そのため，森林の水源かん養機能に関する研究は数多く行われ，ここ10数年の間に著しく進展し，森林の水保全機能の仕組みが明らかにされつつある[1,6,7]。

一方，沖縄は亜熱帯性島嶼環境にあって，ダム立地条件に乏しく，降雨の季節的変化が大きいことも相まって，水資源確保の困難から水不足は慢性化し，大きな社会問題となっている。しかし，これまで，森林の水源かん養機能に関する研究は極めて少なく，竹下ら[8]，山盛ら[10]，藤枝ら[2]，吉永ら[13]によって断片的に研究されているに過ぎない。

沖縄の特異な環境下で，水資源の保全を図るためには，森林土壌の特性，流域の流況特性，貯留機能と環境との関係など解明しなければならない課題が多い。

本報告では，辺野喜ダム流域を対象に，林分や土地環境が貯留機能に及ぼす影響を解析し，ダム水文観測資料から流況特性を分析して，流域の水源かん養機能について考察した。

調査地の概況

辺野喜ダムは，図1に示すように，沖縄本島北部にあって，開析急峻斜面が多く，谷密度の高い山岳地形を呈している。流域面積は約8.1km^{2}で，その地形特性は表1に示す通りである。

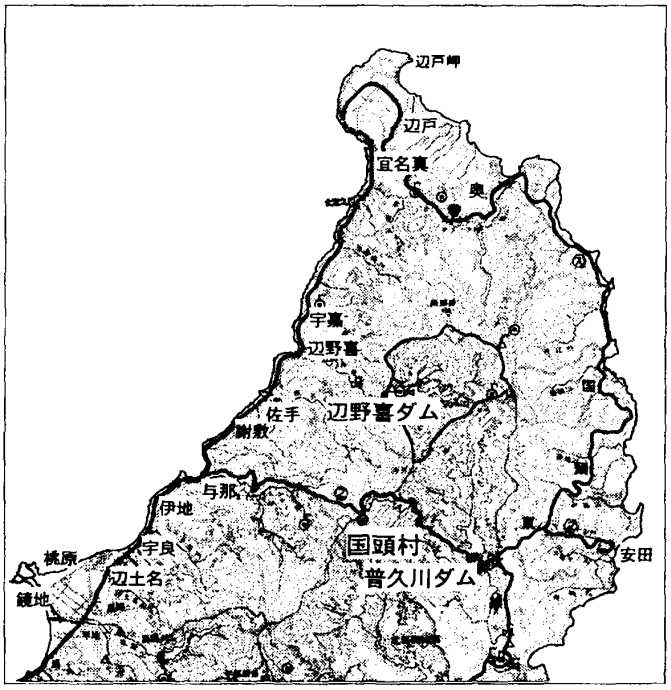

図1．辺野喜ダム流域の位置図

表1．辺野喜ダム流域の地形特性

地形要因	特性値
流域面積 (ha)	810
標高 (m)	175～363
主流長 (m)	4,500
主流路平均勾配 (°)	3
流域の平均勾配 (°)	25
形状係数	0.40

地質は名護層及び嘉陽層から成り，名護層は千枚岩，粘板岩を主とし，嘉陽層は大半が砂岩である[12]。土壌は斜面の大部分が弱乾性黄色土 (Y_C) で，稜線部には乾性黄色土 (Y_B) が，鞍部の平坦ないし緩斜面では表層グライ化赤・黄色土 (gRY_I) がそれぞれ狭い範囲で分布する。また，河岸堆積地には適潤性黄色土 (Y_D) が見られたが，その殆どは湛水池に埋没している。

森林植生[12]は大部分がイタジイを主体とする天然生の常緑広葉樹林であるが，1979年頃から湛水池周辺の森林が伐採，更新されたために，人工林が急速に増加している。ちなみに，1979年と1989年の辺野喜ダム流域の林相を示すと表2のようになる。

表2．林相別面積 (ha)

林相		1979年	1989年
天然	広葉樹林	557.34	467.53
	針葉樹林	7.75	0
	混交林	143.85	50.86
人工	針葉樹林	26.29	57.06
	広葉樹林	23.36	73.86
	混交林	28.46	30.61
その他（雑地）		22.95*	130.08**
合計		810.00	810.00

*個人有の畑等　**個人有の畑とダム付帯地

表3は辺野喜ダム，安波ダム及び与那の気温と降雨量を対比して示したものである。

表3．気象観測値の比較

要素	地点＼月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
月平均気温 (℃)	辺野喜	14.7	14.1	17.1	18.5	21.5	25.6	27.1	26.5	25.2	22.9	19.3	15.9	20.7
	安　波	14.9	15.9	17.7	20.0	22.8	26.5	28.6	27.7	26.5	23.3	20.1	16.9	21.7
	与　那	14.1	14.9	17.3	20.8	23.8	26.6	28.9	28.2	27.1	24.0	19.9	15.6	21.8
月平均降雨量 (mm)	辺野喜	246.2	203.3	198.7	262.3	312.0	239.7	162.7	300.7	269.2	210.8	189.3	75.7	2662.5
	安　波	162.5	198.2	223.1	251.5	355.3	247.0	139.5	288.7	221.5	211.5	188.4	102.8	2590.0
	与　那	164.9	160.5	187.0	201.3	327.9	299.0	240.1	352.4	257.2	236.9	192.2	125.6	2745.0

注1）辺野喜及び安波は北部ダム事務所の観測資料から計算し，与那は琉球大学農学部附属演習林創設40周年記念誌[5]による。
2）観測期間は，辺野喜1988年～1993年（気温は1988年～1992年で欠測が多い），安波1980年～1994年，与那1968年～1990年である。

調査の方法

沖縄本島北部における森林土壌の貯留機能と各種の環境因子との関係について数量化法によって分析し，貯留機能（土壌の孔隙率）の計量化を試み，これによって辺野喜ダム流域の伐採が貯留機能に及ぼす影響について検討した。貯留機能と環境因子との関係を検討するための資料は，既に竹下ら[8]によって調査の行われた66プロットで，これらのプロット（10m ×10m）は北部のダム群周辺で設置され，地況及び林況について詳細な調査がなされている。

また，北部ダム管理事務所の日雨量及び日流入量の観測資料を用いて，辺野喜ダム流域の水収支，流況指標，直接流出特性及び基底流出特性を分析し，流域の水源かん養機能について考察した。なお，直接流出特性を解析するには，短時間間隔の観測資料が必要とされるが，ここでは流況特性を把握するのが目的であるので，日単位のデータを用いた。

結果及び考察

1．森林土壌の貯留機能の計量化

森林土壌の貯留機能はpF 0.7～2.7の孔隙量で表される[7]。しかし，孔隙量は各層位の厚さと孔隙率によって求めるので，層位の厚さがわからないと計算できないという不便がある。そのため，本研究では各層位の厚さを重みとした平均孔隙率で貯留機能を表すことにした。平均孔隙率がわかれば，土壌の深さを乗じて孔隙量を求めることができる。

いま，平均孔隙率を外的基準とし，各種の環境要因（アイテム）のカテゴリーの数量（スコアー）について，66プロットの資料を用いて計算すると表4のようになる。すなわち，9つの要因を用いれば，平均孔隙率の変動の内，およそ60%（決定係数0.62）は説明されることになる。カテゴリー数量の範囲及び偏相関係数から明らかのように，地形や土壌などの林地要因の方が，林相や林齢などの林分要因に比べ平均孔隙率に与える影響が大きい。ちなみに，林分要因の偏相関係数の平均は0.15で，林地要因のそれの約1／2程度である。また，林地要因，林分要因それぞれ別々に数量化を行うと，その決定係数は，林地要因（6項目）0.60（R＝0.77），林分要因（3項目）0.18（R＝0.42）となり，林分要因は林地要因のおよそ1／3程度で，平均孔隙率のバラツキの約20%の説明力しかない。しかし，林地要因は人為的に変更できないが，林分要因は人為的操作が可能であり，これによって，土壌の孔隙率を改善し，貯留機能を高めることができるという点では極めて重要であるといえよう。

表4．カテゴリーに与えられた数量と偏相関係数

要因	カテゴリー	数量	範囲	偏相関係数
傾斜角	急	-0.179	0.809	0.116
	中	-0.161		
	緩	0.630		
斜面形	山頂	-0.178	2.835	0.393
	中腹	-0.575		
	山脚	2.260		
堆積様式	残積	-0.785	1.214	0.209
	歩行	0.354		
	崩積	-0.859		
基岩	砂岩	-0.863	4.657	0.519
	粘板岩	-1.279		
	国頭礫層	3.378		
土壌型	Y_B	0.353	3.963	0.418
	Y_C	0.452		
	Y_D	1.221		
	R_B，R_C	-2.742		
土壌の硬度	22mm以上	-1.234	3.197	0.454
	18～22mm	0.778		
	18mm未満	1.963		
林相	針葉樹	-1.108	1.258	0.145
	広葉樹	0.150		
	混交林	0.058		
林齢	40年以上	0.464	1.529	0.218
	20～40年	0.288		
	20年未満	-1.065		
ha当り材積	300m³以上	-0.081	1.063	0.101
	200～300m³	-0.275		
	100～200m³	-0.052		
	100m³未満	0.788		
定数項		13.197		

重相関係数＝0.79　　決定係数＝0.62

表5．カテゴリーに与えられた数量と偏相関係数

要因	カテゴリー	数量	範囲	偏相関係数
傾斜角	急	-0.374	0.616	0.120
	中	0.242		
	緩	0.158		
斜面形	山頂	-0.063	2.539	0.359
	中腹	-0.548		
	山脚	1.991		
基岩	砂岩	-0.745	5.307	0.488
	粘板岩	-1.727		
	国頭礫層	3.580		
土壌型	Y_B	-0.018	6.277	0.572
	Y_C	0.329		
	Y_D	2.326		
	R_B，R_C	-3.951		
林相	針葉樹	-0.802	1.048	0.149
	広葉樹	0.246		
	混交林	-0.495		
林齢	40年以上	0.391	2.511	0.324
	20～40年	0.673		
	20年未満	-1.838		
ha当り材積	300m³以上	0.085	1.949	0.195
	200～300m³	-0.390		
	100～200m³	-0.383		
	100m³未満	1.559		
定数項		13.197		

重相関係数＝0.70　　決定係数＝0.48

2．伐採が貯留機能に及ぼす影響

辺野喜ダム流域では，1979年から1989年までの10年間に約191ha（流域面積の約24％）の森林が伐採されたが，その内，約107haはダム付帯地として使用され，残り84haが更新されている（表2参照）。すなわち，ダム建設前に比べてダム建設後は雑地が約13％，人工林率が約11％それぞれ増加している。ここでは，このような伐採が貯留機能に及ぼす影響について，数量化法によって得られたカテゴリーの数量に基づいて検討した。

表4のカテゴリーの数量を使用するためには，9つの要因の調査が必要であり，かなりの日数と経費を要する。そのため，ここでは，地形図，林相図及び森林簿から得られる情報に基づいて検討した。すなわち，傾斜角，斜面形，基岩，土壌型，林相，林齢及びha当たり材積の7つの要因を用いることにした。いま，この7要因のカテゴリーの数量を示すと表5のようになり，9要因の場合に比べて決定係数は低くなっているが，ある時期間のスコアーの差を比較するには差し支えない。

まず，1／5,000の地形図に2cm×2cm（1ha）のメッシュを作り，各メッシュ毎に傾斜角と斜面形を読みとり，次いで，この地形図の上に林相図を重ねて林相を決め，さらに森林簿から基岩，土壌型，林齢及びha当たり材積を調べた。なお，基岩，土壌型は，地質図及び土壌図[11]を参考にして決定した。このようにして，1979年の伐採前と1989年の伐採後のデータを作成し，これによって平均孔隙率を推定した。その結果は，1979年の13.0％に対し，1989年は11.8％となり，伐採後はやや平均孔隙率が低下している。いま，土壌の深さを100cmと仮定して，貯留量を求めると（貯留量＝面積×土壌の深さ×平均孔隙率），1979年が1300m³/ha（130mm），1989年が1180m³/ha（118mm）と推定され，ha当たり120m³の差を生じている。つまり，辺野喜ダム流域の貯留機能は，明らかにダム建設などに伴う伐採によって低下したと考えられる。

3．辺野喜ダム流域の水収支及び流況特性

1）水収支

流域に降った雨水の一部は下流に流出し，一部は流域の土壌中に貯留され，残りは蒸発散する。いま，年降雨量（mm）をP，年流出量（mm）をR，年蒸発散量（mm）をE_Tとすると，流域の水収支は，

$P=R+E_T+\triangle M$

ただし，$\triangle M$：流域貯留量の年間変動量（mm）

で表され，年蒸発散量（E_T）に対しては，沖縄では，山盛ら[10]によると，次式のようなハモン式がよく適合する。

$E_T=\Sigma E_{PT}=\Sigma(0.140\times D_0^2\times gt)\times$その月の日数

ここに，E_{PT}：月平均蒸発散量（mm/mth.），D_0：緯度に対する可照時間（12hr/day），gt：平均気温に対する飽和絶対湿度（g/m^3）

このハモン式によって算出された蒸発散量（月平均気温は，辺野喜ダムは欠測が多いので，安波ダムの観測値を用いた）と，1988年～1993年の6年間のダムの水文観測資料を用いて，辺野喜ダム流域の水収支を計算すると，年降雨量2662.5mm，年流出量1645.3mm（年流出率が約62%），年蒸発散量1072.1mm（年蒸散率が約40%）となる。辺野喜ダム流域の年流出率62%は，沖縄の主要ダム（福地，新川，安波，普久川）流域[10]の61～74%とほぼ類似したものとなっている。年蒸発散量については山盛ら[10]は，1001～1065mm，藤枝ら[2]は929～1094mmと推定している。従って，沖縄では，年蒸発散量はおよそ900～1100mmと考えられ，辺野喜ダム流域はやや高めの数値ではあるが，その範囲内にある。

2）流況特性

(1) 流況指標値

一般に，流況状態の良否は，渇水比流量，（豊水／渇水）比，（豊水／平均）比及び［（平均－渇水）／平均］比という指標値によって判断される。渇水比流量とは，特別の利水施設がなくても利用できる水量であり，渇水比流量が大きいほど水源かん養による調節機能は高いといえる。また，豊水流量以下の流量が年間を通じて均等に近いほど水源かん養機能は良いと考えられている。従って，（豊水／渇水）比は小さいほど好ましい。いま，豊水以下の流量を基底流出量と考えると，（豊水／平均）比は大きい方が基底流出の割合が高くなる。さらに，（平均－渇水）／平均の比を要調節量の指標値としてみると，その値は小さいほど渇水比流量と平均比流量が近似していることを意味し，水源かん養機能が高いと判断される。

表6．年流況指標値比較表

単位：m^3/sec. 100km^2

時　期	最大日	35日	豊水	平水	低水	渇水	最小	平均	豊水／渇水	豊水／平均	（平均－渇水）／平均
伐採前(1973年～1977年)	91.98	11.70	5.13	2.94	2.15	1.65	1.51	5.86	3.11	0.88	0.72
伐採後(1988年～1992年)	90.14	9.78	5.23	3.33	2.10	1.11	0.62	5.43	4.72	0.96	0.80

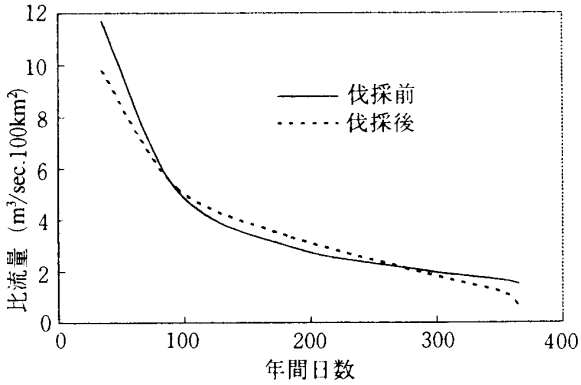

図2．伐採前後の年流況曲線の比較

まず，森林の伐採が流況に及ぼす影響について検討するために，辺野喜ダム流域の伐採前後の年流況指標値を求めると表6のようになる。すなわち，伐採後は渇水比流量が小さく，豊水／渇水の比値及び（平均－渇水）／平均の比値は高くなっている。ちなみに，流況曲線を比較すると図2のようになり，豊水以下の曲線は伐採後の方が急となっている。これらのことは，伐採後に流況の状態が悪化していることを示しており，先の貯留量の推定結果とも符合する。

次に，最近6年間の流況指標値は表7の通りである。

表７．年流況指標値

単位：m^3/sec. 100km^2

年　度	最大日	35日	豊水	平水	低水	渇水	最小	平均	豊水／渇水	豊水／平均	(平均－渇水)／平均
1988	155.93	13.83	6.91	4.20	2.47	0.99	0.74	7.16	6.98	0.97	0.86
1989	62.69	8.52	4.32	3.09	1.23	0.74	0.74	4.57	5.84	0.95	0.84
1990	106.30	10.62	5.68	3.95	2.96	1.35	0.99	6.30	4.20	0.90	0.79
1991	49.26	6.42	4.20	2.10	1.48	0.86	0.62	3.70	4.88	1.13	0.77
1992	76.54	9.51	5.06	3.33	2.35	1.61	0.00	5.43	3.14	0.93	0.70
1993	65.43	6.30	3.83	2.59	1.85	1.11	1.11	3.95	3.45	0.97	0.72
平均	86.05	9.26	5.06	3.21	2.10	1.11	0.74	5.19	4.75	0.97	0.78

この表から，渇水比流量は増加傾向，（豊水／渇水）比及び［(平均－渇水)／平均］比は減少傾向を示している。すなわち，辺野喜ダム流域の流況は，回復の方向にあるといえる。これは，最近６年は伐採が行われていないことに起因しているものと思われる。

沖縄の主要ダム（福地，新川，安波，普久川）では[8]，渇水比流量0.59～1.31m^3/sec.100km^2，（豊水／渇水）の比4.70～6.95，（豊水／平均）の比0.82～0.92，（平均－渇水）／平均の比0.82～0.88となっている。これらの数値を表７の平均値と比較すると，全体的にみて流況は辺野喜ダムが優れている。

また，竹下[8]によると，九州の河川では渇水比流量1.5～3.0m^3/sec.100km^2，（豊水／渇水）の比2.5～6.5，（豊水／平均）の比0.95～1.05，（平均－渇水）／平均の比0.4～0.8となっており，辺野喜ダムは九州の河川に比べて，流況が劣っているといえる。

(2)　直接流出特性

直接流出量と基底流出量の分離は，日流出量の増加日の前日を起点とし，ピーク日流出量発生後３日目の点を終点として，これを直線で結び，その線の上部を直接流出量，下部を基底流出量とする簡易法によった。

一般に森林流域では，一降雨量と直接流出量との関係は次式で表される。

$R_d = aPs^b$

ここに，R_d：直接流出量（mm），Ps：一降雨量（mm），a, b：定数

この式を辺野喜ダム流域に当てはめると次式のようになり，これを図示すると図３のようになる。

$R_d = 0.00576Ps^{1.71}$

すなわち，a＝0.00576，b＝1.71となるが，これらの数値は辺土名及び南明治山試験流域[2]と比べて小さい。これは，一降雨当たりの直接流出量が少ないことを意味し，従って，水源かん養機能が両地域よりも高いことを表している。

次に，一降雨量と損失量との関係を示すと，図４のようになる。これより，損失量は一降雨量が増大

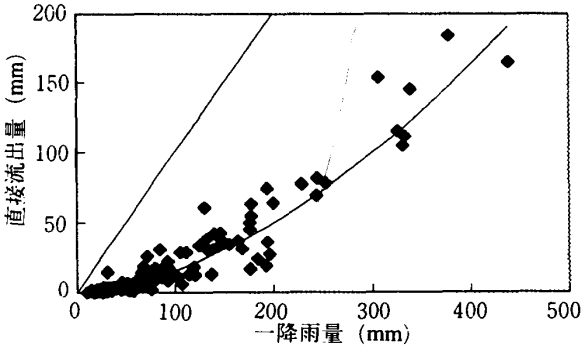

図３．一降雨量と直接流出量との関係

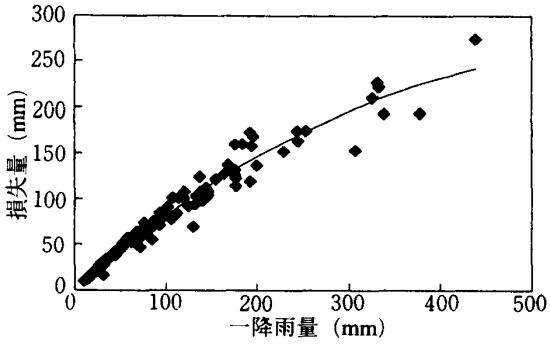

図４．一降雨量と損失量との関係

するに伴って増加し，220～250mmに収束する傾向がみられる。つまり，最大損失量は220～250mmと考えられるが，これは，平均孔隙率から求められた貯留量120～130mmに比べかなり大きい。最大損失量は大まかには土壌による貯留量と樹冠による遮断量を加えたものと考えられる。金城ら[3]によると沖縄における広葉樹林の樹冠遮断率は約30%であるので，辺野喜ダム流域における遮断量は100～120mmと推定される。すなわち，貯留量と遮断量を加えたものが，およそ最大損失量と一致しており，これらの数値はほぼ妥当なものであるといえよう。

(3) 基底流出特性

基底流出の逓減形は，次式のように被圧条件下では指数関係型地下水逓減式，不圧条件下では分数関係型地下水逓減式で表される[9]。

$$Q_{(t)}=Q_0 \exp(-\alpha t)$$

$$Q_{(t)}=Q_0/(\beta\sqrt{Q_0 t+1})^2$$

ここで，$Q_{(t)}$：tにおける基底流出量，Q_0：初期流量，t：経過日数，α，β：逓減係数

降雨終了から二日以後の無降雨期間10日の逓減部を抽出し，これを2つの式にあてはめ，最小自乗法により地下水逓減係数α及びβを求めた。図5及び図6は初期流量と地下水逓減係数との関係を示したものである。これによると，αの平均値は0.046，βの平均値は0.044である。βはαよりバラツキが小さく安定している。したがって，辺野喜ダム流域では分数関数型の式が適合すると考えられる。すなわち，辺野喜ダム流域の基底流出の大部分は比較的浅層に存在する不圧地下水によりかん養されていることを示している。

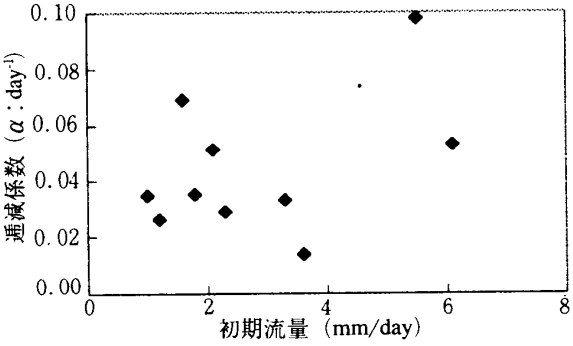

図5．初期流量と地下水逓減係数（α）

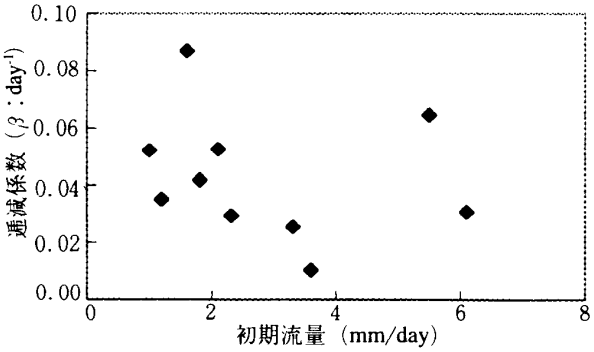

図6．初期流量と地下水逓減係数（β）

また，地下水逓減係数には季節的な変化が見られ，10～12月間はαの平均値は0.037，βの平均値は0.043，5～8月間はαの平均値は0.055，βの平均値は0.044となり，夏期の方が冬季より減水割合が大きい。逓水曲線の季節変化が著しく現れる流域は，基底流出が蒸発散作用の影響を強く受けるような浅い地層から流出していることを示し，逆に著しい変化がみられない流域は，基底流出が深い地層に由来していることを示しているといわれている[4]。このことからも，やはり辺野喜ダム流域の基底流出が，地層の浅い部分に依存していることが肯ける。

摘　要

本報は辺野喜ダム流域の貯留機能及び流況特性を検討し，流域の水源かん養機能について考察を試みたものである。その結果を要約すると次の通りである。

1）土壌の平均孔隙率を外的基準として，地形，土壌，林相等9つの環境要因との関係を数量化法により分析した結果，重相関係数0.79（決定係数0.62）と比較的精度の高いカテゴリーの数量が得られた。

2）地形図及び森林簿から得られる情報（7環境要因）と，数量化によるカテゴリーの数量に基づ

き，ダム建設前後の土壌の平均孔隙率について推定した結果は，建設前が13.0%であるのに対し，建設後は11.8%であった。その差は，貯留量に換算して約120m³/haに相当し，その分流域の貯留機能が低下したことを示している。これは，明らかに流域面積の24%に及ぶダム建設などのための森林伐採が主因であると思われる。

3）辺野喜ダム流域の年流出率は約62%，年蒸発散量は1072mm（約40%）と推定されるが，これは，沖縄本島北部の主要ダム流域とほぼ類似している。

4）辺野喜ダムの水文観測資料を用いて，流域の年流況指標値を求め，これらの数値について比較検討した結果，流況は伐採によって悪化することが認められたが，最近6年間の変化をみると，回復の方向にあることが明らかとなった。

5）一降雨（Ps）当たりの直接流出量（R_d）は，$R_d=0.0057Ps^{1.71}$で表され，辺土名及び南明治山試験流域の事例に比べてその係数が小さい。すなわち，辺野喜ダム流域は，両地域よりも一降雨当たりの直接流出量が少なく，水源かん養機能が高いといえる。

6）基底流出地下水逓減式について検討した結果，分数式が適合し，逓減係数βの平均は0.044で，βには季節的な変化が認められた。すなわち，辺野喜ダム流域の基底流出の大部分が浅い地層に依存しているものと判断された。

本報告は主に周光明が取りまとめたものである。なお，水文資料は沖縄総合事務局開発建設部河川課及び北部ダム統合管理事務所から，林相図及び森林簿は沖縄県北部林業事務所及び国頭村役場から提供して戴いた。記して謝意を表するものである。

引用文献

1．有光一登　1987　森林土壌の保水のしくみ　創文　pp199
2．藤枝基久・志水俊夫・金城　勝・寺園隆一　1995　沖縄本島の水源地帯における水分環境　日林誌 77(2)：145～152
3．金城　勝・寺園隆一　1993　亜熱帯広葉樹林の樹冠遮断率について　沖縄県林業試験場研究報告 36：32～39
4．中野秀章　1977　森林水文学　共立出版　pp228
5．琉球大学豊学部附属演習林　1994　創設40周年記念誌　p186
6．竹下敬司　1985　森林土壌と水源かん養機能　森林立地　XXVII(2)：19～26
7．竹下敬司　1988　森林・土壌と水問題　森林立地　XXX(2)：26～32
8．竹下敬司・山盛　直・幸喜善福・新里孝和　1985　河川流域に及ぼす流域環境要素の検討業務報告書　pp204
9．塚本良則　1992　森林水文学　文永堂　173～176
10．山盛　直・新垣　隆　1989　蒸散量調査業務報告書　沖縄総合事務局北部ダム統合管理事務所　pp193
11．山盛　直・幸喜善福・新里孝和　1983　辺野喜ダム及び関連工事に伴う跡地整備計画検討業務報告書　北部ダム事務所・日本林業技術協会　pp150
12．山盛　直・幸喜善福・新里孝和・馬場繁幸　1986　昭和61年度辺野喜ダム貯水池保全調査検討業務報告書　沖縄総合事務局北部ダム事務所　pp138
13．吉永安俊・翁長謙良　1993　森林伐採が降雨流出に及ぼす影響について　琉大農学報　40：69～75