

# 台湾萬隆農場および二峰圳

鳥居 徹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>非会員 東京大学大学院新領域創成科学研究科共同研究員, 東京大学名誉教授

(〒277-0871 千葉県柏市若柴 178 番地 4-4)

E-mail: torii@edu.k.u-tokyo.ac.jp .

二峰圳は、台湾製糖が林辺溪沿いに新規農場として萬隆農場を開設するために作られた灌漑施設の名称であり、1923年に完成した。二峰圳の水源である林辺溪は、雨期には濁流になることがあるが、乾期には表流水が全くなくなる。農場の灌漑用水としての水源探索を行なった結果、乾燥期には林辺溪の表流水はなくなるものの一定量の伏流水があることを突き止めた。そこで、灌漑用水の取水方式として伏流水を取水する暗渠構造として二峰圳の設計が行われた。本講では二峰圳の概略ならびに構造、取水性能などの説明を行い、さらに萬隆農場をはじめとする台湾製糖の農場管理運営方式を紹介する。

**Key Words:** bar screen, irrigation, Linbian River, torrent intake, underground conduit

## 1. 二峰圳の概要

台湾の最南部に位置する屏東県の県庁所在地である屏東市から南東に 20 km 位置に来義郷がある(図-1)。郷は台湾の行政区分で日本の村に相当する。来義郷に台湾製糖の萬隆農場(2400ha)が開設されたが、農場に灌漑用水を供給する灌漑施設として二峰圳が建設された。当時の台湾製糖の社長であった山本悌二郎の雅号が二峯であることから、灌漑施設の名称が二峰圳と名付けられた。屏東県は3000m近い山脈が連なっており、二峰圳が取水する林辺溪の場所までは、南大武山(2841m)の山頂から10kmの位置にある。そのため、河川は急勾配であり、降雨時には濁流となるが、乾期には表流水が全くなくなる。そのため、二峰圳は林辺溪の伏流水から取水する灌漑施設となっている。本稿では、萬隆農場の開設ならびに二峰圳の概要、二峰圳からの取水量、バースクリーンからの取水量の推定、萬隆農場の農業管理について述べて行く。

## 2. 萬隆農場の開設

### (1) 二峰圳の水源探索

林辺溪は、南大武山につらなる山脈を水源としているため、河川は極めて急峻で氾濫が繰り返された。そのため、日本が台湾を領土とした以前から石礫不毛の大荒蕪地として放置されてきた<sup>1)</sup>。とくに、農業を利用する上での問題点として以下の点が挙げられる。1) 雨期にお

いて林辺溪が氾濫すること。2) 乾燥期には飲料水を得ることが出来ないほどの旱魃状態になる。3) 大小無数の石礫が混在し且つ土層は恰もコンクリートの如き状態にて、人力、畜力では到底耕鋤の出来ない高燥不毛の砂礫地<sup>2)</sup>であること。そのため、台湾総督府は林辺溪一体の有効利用を目指して、大正元年に大石堤工事を実施して、氾濫が押さえられるようになった。台湾製糖は、林辺溪の右岸地帯を台湾総督府から払い下げられ、また自社で土地を取得して農地の開発を目指した。

そこで、冬期の水源探索を1919年(大正8年)より始めて、林辺溪の上流にかけて表流水のみならず伏流水の状態の測定を行った。当時の地下水の流速測定法とし

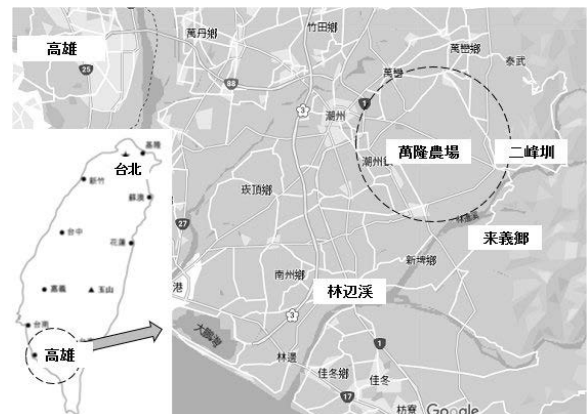


図-1 二峰圳ならびに旧萬隆農場 (Google Map より)

では、主として電気法と染色法があったが<sup>3)</sup>、林辺溪の水源探索ではウラニンをを用いた染色法が用いられた。ウラニンは、地中でおおむね吸収、分解を受けず、また人畜に対しても無害である。

水源探索の結果、2つの川が合流する地点は水量が豊富であるとともに、河床の垂直的変動の小さいため、ここに伏流水を取り入れる取水口（暗渠）を設けた（図-2 C点）。水源探索では、取水口より上流側3kmの地点で毎秒約1m<sup>3</sup>/sの表流水の流量が観測された（図-2 および図-3 A点）。林辺溪における伏流水の状態を図-3に示す。暗渠位置から上流側にかけての伏流水動向勾配線は、暗渠位置から上流にかけて1/100, 1/80, 1/63と急峻になっていく。実際の暗渠深さは、年間の降雨量の変動を考慮して、常流観測点であるA点からさらに上流側に900mの位置（図-2 O点）から1/63の勾配で下った線が暗渠位置に達した深さとして、河床より7.3mの位置に暗渠を設けた。本来母岩上に基礎を置くことが最も安全ではあるが、深さは15m以上となるため、経済的ならびに工事期間を考慮してこの深さとした<sup>1)</sup>。灌漑頭首点で

ある分土工のあるところ（図-3 D点）までの勾配線は1/800である。G点は伏流水が乾燥期において湧出する位置で、湿潤期にはF点で湧出した。

## (2) 二峰川の暗渠構造

二峰川の取水部である暗渠構造を図4に示す。堰堤の構造は、逆L字型の基礎部に、水の取り入れ口となるバースクリーンが立てかけるようになっており、こちらが上流側である。基礎部はコンクリートで出来ているが、バーには鉄筋が補強として用いられている。

堰堤断面の高さは2.9m、幅3.9mで、底部の厚さは0.3m、下流側の堰堤厚さは上辺が0.9m、底辺が1.6mの台形である。暗渠内部は幅、高さともに1.8mの直角二等辺三角形となっていて、暗渠内部で作業が出来る高さとなっている。取水部のバーは、長さ2.8mで、幅と厚みともに24cm、取入口の幅は6cmとなっている。堰堤は林辺溪の川幅一杯に作られていて、全長328mあり、暗渠を管理するための出入り口である集水塔が暗渠の両

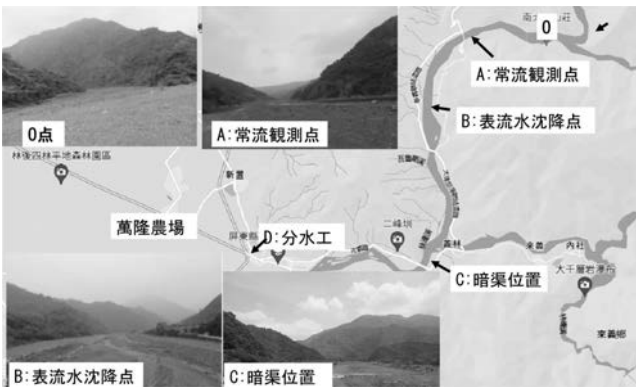


図-2 二峰川、萬隆農場、水源探索位置 (Google Map より)

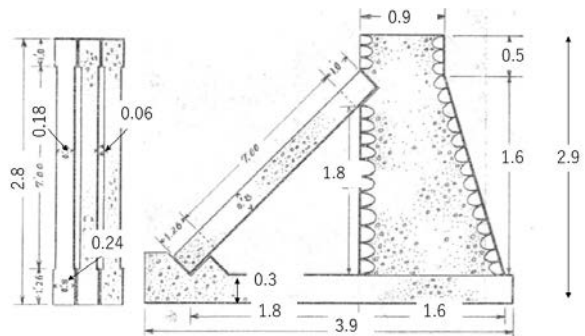


図-4 堰堤構造 (文献2より引用)

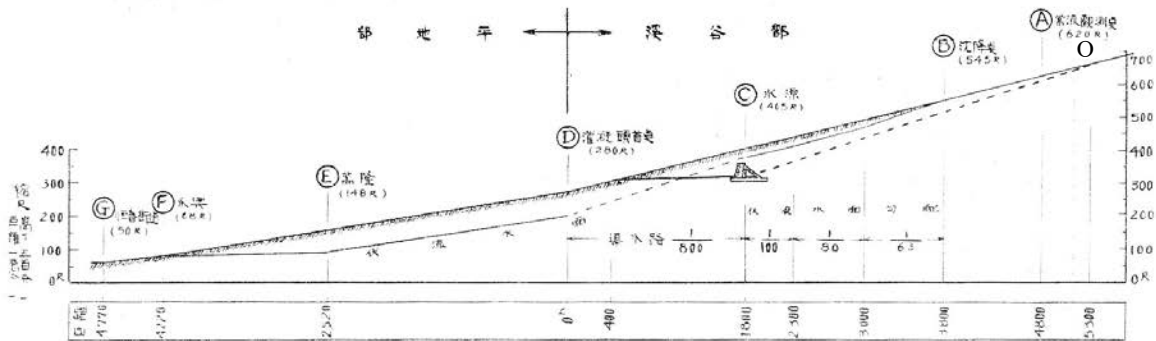


図-3 伏流水調査状況 (文献2より引用)

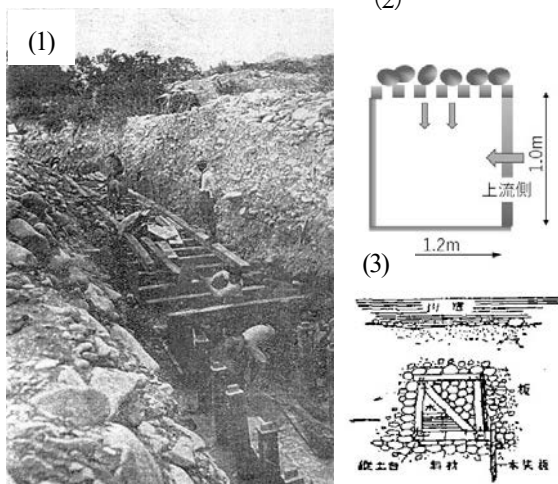


図-5 泉田川暗渠

(1) は文献6より引用。(3)は文献7より引用.)

端に設けられている。なお、工事には原住民の労力によるところが多く、その働きぶりは本島人が及ばないと記述されている<sup>9)</sup>。

伏流水による暗渠の取水口にバースクリーンを用いた前例として、山形県の泉田川に設けられた暗渠がある(図-5(1))<sup>9)</sup>。取り入れ口のバーは直径6-9cmの松材で、隙間も同サイズである。参考文献6では暗渠断面は長方形をしているが(図-5(2))、参考文献7の図では直角三角形をしている(図-5(3))。ただし、三角形の斜面側が

下流で垂直に立っている面が上流側でこちらから水を取り入れる。当該取水暗渠については、「石と木材による粗末な」という表現が用いられているが<sup>9)</sup>、伏流水による流体力を石によって釣り合わせるなど工夫が見られる。二峰圳の設計に際しては、萬隆農場開設責任者である鳥居信平が「最近の學問を応用して地下水を養水源として使用せるは山形県に1ヶ所ある」<sup>9)</sup>と評価していたことから、本暗渠を参考にした可能性があるとと思われる。

### (3) 萬隆農場の開設ならびに農場運営

農場の開墾は人力では行えないために、動力源としてスチームプラウエンジンを用いて、作業機としてナイフアーを用いて土壌深度約60cmで開墾した。出てきた石は人力によって集め、モールドボードプラウによって耕耘作業を行った。そのあとで、緑肥の栽培ならびに堆肥の施肥の後に甘蔗栽培を実施した。

栽培については、糖業の先進地域であるジャワ(現インドネシア)で行われている輪作方法を適用した。ジャワでは、計画的に栽培するために分割した土地ごとに栽培する品目を割り当てるためのイリゲーションマップを作成している(図-6)<sup>10)</sup>。本図は、縦軸に区分けした農場の番号が記載され、横軸には各月となっている。栽培する品目は主として、甘蔗尾、米、緑豆ならびに休耕地が各農場に割り振られている。台湾製糖でも同マップのようなものを作成して栽培管理していたものと思われる。

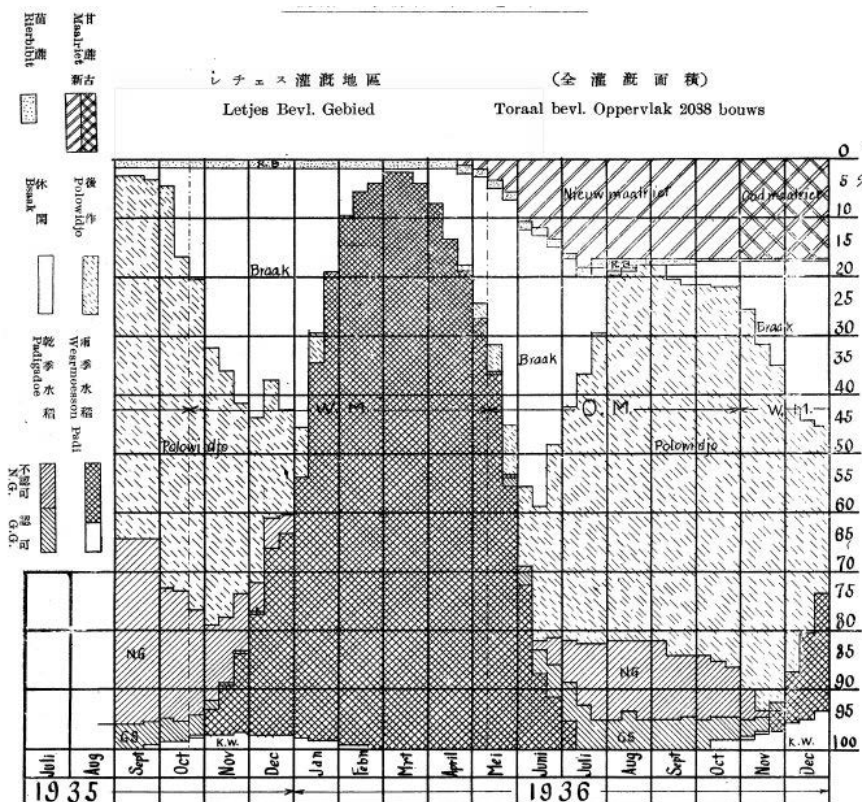


図-6 イリゲーションマップの例(文献10より引用)

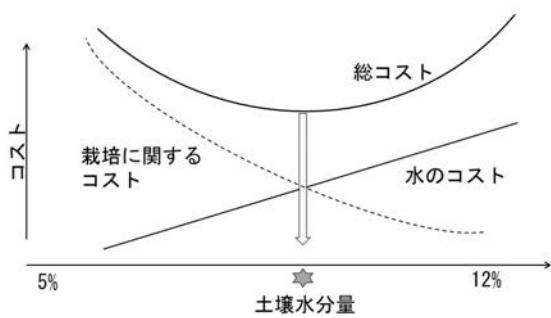


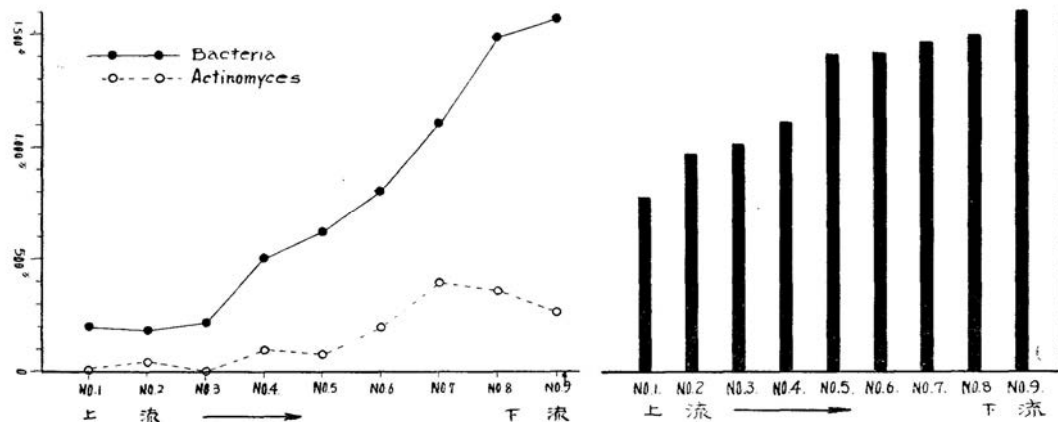
図-7 エコノミカルイリゲーション

また、当時開発されたばかりのハンドリフレクトメーターを用いて糖度が高まる状態を測定して適期に収穫した。

農場管理方として、2つの特徴ある管理方を紹介する。ひとつは、水不足に対応するために灌水量を極力減らす方法で、文献1ではエコノミカルイリゲーションと呼んでいる。糖業の先進地である、ハワイやジャワでは土壤水分量を12%で栽培していたが、同5%でも立ち枯れせずに糖度も維持できることを確認した<sup>2)</sup>。灌水量を減らすと収穫量も減少するが、それを補うためには栽培面積を増やす必要がある。灌水量を減らすと水のコストは下がるが、そのために栽培面積を増やすためのコストは増加する。図-7にコストを一つにしたグラフを示す。土壤

水分量が増えると灌水に要するコストが増える。一方、灌水量を減らすと栽培面積を増やすなど栽培に関するコストが増える。コストをこのように記載できる場合は、土壤水分量が5%と12%の間でコストを最小に出来る灌水量(図-7の星印)がある。当時は最適手法までは実施していないと思われるが、コストに関する因子を考慮して通常より少ない灌水量で同等の収量を得る手法をエコノミカルイリゲーションと呼んでいたと推察される。

管理方のもう一つの特徴は、農地の一つの生態系と考えて、土壤中の微生物を測定していた点である。肥料成分である化学分析も実施していたが、それに加えて台湾大学足立教授の協力のもとで、バクテリアや糸状菌の菌数やその他の菌種を測定していたことである。これらの数値が増加するように、土壤水分管理や土壤組成の改良を実施した。土壤微生物には培養ができない菌種が多く存在するために、現在では土壤中のDNA分析によって地力を調べるようになると考えられるが、現在の環境DNA計測の先駆けになるような考え方ではないかと思われる。台湾製糖では、100年近く前から現在のSDGsに通じる農場運営が行われたことは高く評価できる。



(1) バクテリアおよび糸状菌の菌数変化

(2) 細菌種類の変化

図-8 上流から下流にかけて土壤中の細菌数ならびに種類の変化(文献2より引用)

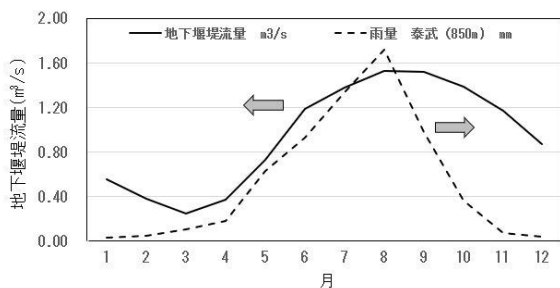


図-9 二峰圳の流量と降雨量の年間変動

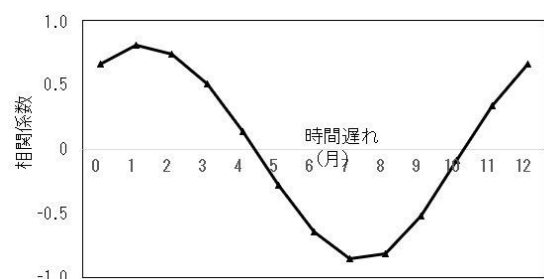


図-10 二峰圳の流量と降雨量との相互相関関数

表-1 乾燥期ならびに雨期における暗渠からの取水量。  
(単位は  $\text{m}^3/\text{s}$ )

	乾燥期 (12-5月)	雨期 (6-11月)
設計時計画水量	0.78	2.84
施工後実測値	0.75	—
1942年から1994年 までの平均値	0.53	1.36

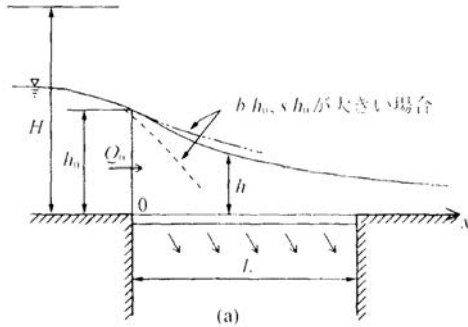


図-11 底部取水工 (文献 11 より引用)

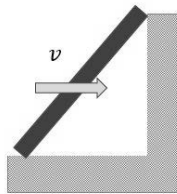


図-12 バースクリーンによる伏流水の取水工

### 3. 二峰川の流量について

#### (1) 取水量と降雨量との関係

二峰川における年間の流量変化ならびに林辺溪の上流部である泰武 (850m) における降雨量が文献 11 に表で掲載されており、このデータをグラフ化した (図-13)。

左の縦軸は二峰川の流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) を表し、右の縦軸は月間降雨量 (mm) を表す。二峰川の流量データは、1942年から1994年までの平均値で、泰武山の雨量は1912年から1986年のうち45年分の平均値である。6月から9月までは雨期としてまとまった雨量があるが、11月から3月まではほとんど雨量がない。

降雨量と二峰川の流量との関係を明らかにするために、相互相関関数を計算した。相互相関関数は次式で表される。

$$R(i) = \sum_{j=1}^{12} f(i)g(i-j) \quad (1)$$

ただし

$R(i)$ :  $i$ 月の相関係数  
 $f(i)$ :  $i$ 月の暗渠流量

$g(i)$ :  $i$ 月の降雨量

計算結果を図-14 に示す。暗渠からの流量は降雨に対して1ヶ月遅れの相関が一番高く、降雨後3ヶ月は影響が続くことが分かる。

表 1 に設計時の計画取水量、施工後の実測値、ならびに1942年から1994年までの流量平均値 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) を示す。数値は文献 1, 2 ならびに文献 11 をもとに換算して得られ値である。設計時の計画水量は乾燥期には  $0.78\text{m}^3/\text{s}$  であるのに対して、実測値は  $0.75\text{m}^3/\text{s}$  であったが、文献 11 のデータでは乾燥期 (12 月から 5 月) の平均流量は  $0.53\text{m}^3/\text{s}$  であった。雨期の実測値については記載がないが、計画取水量は  $2.84\text{m}^3/\text{s}$  であるのに対して同文献における6月から11月までの平均流量は  $1.36\text{m}^3/\text{s}$  であった。施工直後の実測値は計画水量に近いものの、施工から時間経過するにつれて流量が減少しているのは、河川環境の変化の他に、バースクリーンが閉塞してきた可能性が考えられる。

#### (2) バースクリーンからの取水量

二峰川のバースクリーンを通過する流量について考える。バースクリーンを用いた底部取水工 (図-11) からの取水流量は式(2)で表される<sup>12)</sup>。

$$Q = \mu B \phi L \sqrt{2gH} \quad (2)$$

ただし、

$Q$ : バースクリーンを通過する流量

$\mu$ : 流量係数

$\phi = \sum a/B$ : 開度

$a$ : バー隙間幅

$B$ : 水路幅

$H$ : 水路底を基準とするエネルギー水頭

$L$ : バー長さ

これは、二峰川の集水暗渠のように地下の伏流水からバースクリーンを通過する水量の式ではないが、この式を用いて二峰川の集水流量を計算する。底部取水工を通過する際の流速  $v$  は次式で与えられるため、流量  $Q$  は(4)式となる。

$$v = \sqrt{2gH} \quad (3)$$

$$Q = \mu B \phi L v \quad (4)$$

この式はバーを通過する流速  $v$  による取水工に適用できるため、これを用いて計算する (図-12)。  $B\phi = \sum a$  より

$$Q = \mu Q_0 \quad (5)$$

ただし、  $Q_0 = \sum a L v$  は伏流水の流量である。これを二

表-2 乾燥期における取水流量0.75m<sup>3</sup>/sとしたときの川幅Bを変えた伏流水流速

B=328 m	B=206 m
1.14 cm/s	1.21 cm/s



図-13 伏流水の流速分布

峰圳の暗渠からの流量として計算をする。

二峰圳の数値は、

$$L = 2.12 \text{ m}, B = 328 \text{ m}, \sum a = 82 \text{ m}, \varphi = 0.25$$

である。流量係数として、角度 45 度の場合の値として  $\mu = 0.566$  を用いた<sup>13)</sup>。

林辺溪における冬期の伏流水流速として、文献 1 に 1.21cm/s と記載されている。そこで、表-1 にある施工後の実測値と文献 1 の流速との関係を調べる。川幅として  $B = 328 \text{ m}$  全体に伏流水が流れている場合の流速と、川幅の約 62%である  $B = 206 \text{ m}$  に伏流水が流れている場合の流速を比較する(表-2)。その結果、川幅一杯に伏流水が流れていると仮定すると、流速は 1.14cm/s となり、文献 1 に記載された流速より遅くなる。一方、伏流水が川幅の約 62%である 206m だけに流れていると仮定すると(図-13)、文献値と一致する。伏流水の流速は川の横断面位置で変化するが(図-13)、林辺溪の場合は伏流水が川幅の 62%だけに流れていると仮定することで流速ないし流量を推定できると考える。

## 5. まとめ

本稿では、台湾製糖が開設した萬隆農場ならびに灌漑施設である二峰圳の設計について報告した。

二峰圳については、取水工である暗渠の設置位置について説明を行い、また暗渠による伏流水の取水方式の一例として山形県泉田川の暗渠を参考にした可能性につい

て述べた。

萬隆農場の管理運営として特徴的な方法として、灌漑用水量を減らしても一定収量を確保するエコノミカルイリゲーションと呼んだ手法を用いていた。また、圃場を一つの生態系としてとらえて細菌数の変位から肥沃度を推定するなど、現在の SDGs につながる手法を用いていたことを紹介した。

また、二峰圳の流量と降雨量との関係を相互相関関数を計算することで、降雨後 1 ヶ月の相関が一番高く、降雨後 3 ヶ月までは流量に影響を与えることを示した。

伏流水をバースクリーンにより取水する方式において、取水できる流量の予測式を示した。また、伏流水の流速と流量の関係から、伏流水が川幅の 62%に存在すると仮定すると流れる流速と一致することを示した。

## 参考文献

- 1) 鳥居信平：伏流水利用に依る荒蕪地位開拓，日本農學會第七回大會講演集，pp.8-22，日本農學會，1936。
- 2) 鳥居信平：甘蔗耕作地擴張事業としての萬隆農場開拓に就て，日本學術協會報告，第 10 卷第 4 號，pp.1109-1121，1935。
- 3) 伊藤重郎編輯：臺灣製糖株式會社史，pp.216-222，臺灣製糖株式會社，1939。
- 4) 酒井軍治郎：地下水測定法，pp.68-77，古今書院，1941。
- 5) 鈴木正鍊：二峰圳工事概要，地理教材研究，第 6 輯，1926。
- 6) 太田達三：地下用水源，耕地整理研究會報，第 4 號，pp.49-54，1910。
- 7) 牧 隆泰：日本水利施設進展の研究，pp.402，土木雜誌社，1958。
- 8) 大友義助，沼沢 明，伊藤和美：泉田川土地改良区史，pp.80-98，泉田川土地改良区，1982。
- 9) 鳥居信平：旱魃と水源，徳島県農會報，第 75 號，pp.9-12，1913。
- 10) 田町正譽：ジャバに於ける灌漑事業（其四），農業土木研究，10(4)，pp.399-406，1938。
- 11) 江崇榮，黃智昭，賴典章：以集水廊道開發水資源之可行性研究，經濟部 86 年度研究發展報告，1997。
- 12) 土木学会水工学委員会編：水理公式集，pp.406，丸善出版，2018。
- 13) 小島信彦，山本光男：バースクリーン複合型溪流取水工に関する実験的研究，農業土木学会論文集，171，pp.67-73，1994。

1

(Received April 10, 2023)