

# 報文

## 灌漑水の化學 [1]\*

小林純

1. 緒言 我國の農業は水稻を主要作物とするから極めて多量の灌漑水を必要とする。この灌漑水の給源としては河川・湖沼・地下水等が利用されてゐるが、之等の水は化學的に見れば決して純粹な  $H_2O$  ではない。美しく透明な河川や湖水或は泉の水も、之を蒸発して検べて見るに大抵 1 萬分の 1 位の鹽類を溶かし込んでゐることが判る。我國最長の河川の一つである利根川には 1 年間に約 100 億噸位の水量が流れているが、この水の中の混濁物質を除外して眞に溶解して運ばれてゐる物質だけの量を分析結果から見積つてみると約 130 萬噸に達する。この溶け込んでゐる鹽類が何物であるか。それは自然界の純粹な水である雨水が地上に降つてから河水となつて海に注ぐまでの間に、極めて微々たる作用ではあるけれども岩石や土壤を浸蝕溶解する結果に外ならない。従つて河川や湖沼に溶けてゐる物質の種類、換言すれば、其等の水質を化學的に特徴づける最も重要な要素は流域の岩石や土壤の種類に因ると言つて差支がない。併し他にも温泉・礦山・工場・季節・天候等各種の條件が加つて水質に複雑な影響を與へてゐることは勿論である。筆者は之等の影響を化學的に究明すると共に、灌漑水に因つて天然に供給される養分量を察知し、延て施肥法の改善の基礎資料とする目的を以つて昭和 17 年着手以來研究上の困難さ鬪ひ乍ら、日本の主要な河川・湖沼・地下水等に就て系統立つた化學的調査を續けてゐる次第である。今日までに大略半數の調査を了へてゐるから、詳細な成績は別に發表するこゝとして、ここには灌漑用水質の概要を記してみやう。

2. 灌漑水に溶けてゐる養分 現在までに行つた調査の結果から判断すれば灌漑水から水田に自然に供給される養分の量は決して尠くない。例へば加里は 1 夏の灌漑期中に水田 1 段歩當り多い所で 2 貢匁、少い所で 300 匋、中庸の所では 6~700 匋位供給されてゐる。(計算法は河川の水質の項参照のこと。) 之を全國内の 300

萬町歩の水田に見積れば硫酸加里として少くも 10 脇萬噸に相當する。窒素について同様に見積れば硫酸安息香酸石灰や珪酸は遙かに多くて大凡 100 萬噸程度と想像される。斯様に灌漑水が供給する養分に加里・石灰・珪酸等の量は思ひの外多い事が判るが、併し流域の地質・土性其他の條件に因つて養分量は次の様に大きな相違を生じる。

### 〔灌漑水中の加里含量〕

阿蘇山から熊本の方へ流れる白川は後に記す通り 100 萬分中 6 以上の加里を含有してゐるから、水田 1 段歩當りこの水から供給される加里の量は 2 貢匁以上に達する。この様な水を灌漑してゐる農家は好運である。何故なら肥料として加里を施す必要がないからである。斯様な例は地質時代の比較的新しい火山岩地帶から流れる河川に多い傾向があつて、筆者の経験によれば九州の阿蘇霧島兩火山脈を水源とする諸河川や、那須火山の那珂川、淺間山の湯川等がそれであるが、他にもこの様な例は多いと思ふ。之に反して加里の缺乏しやすい場合、即ち加里含有量の少い河川は往往にして花崗岩或は一部の水成岩等に源を發するものに見受けられるのであつて、特に近年問題となつてゐる老朽化水田、或は加里缺乏を起し易いと訴へられる地方の灌漑水を分析してみると、水中の加里含有量が 100 萬分中 0.8 以下即ち 1 段歩當りの供給量に換算して僅かに 300 匋位に過ぎない場合が多い。従つて斯様な加里含有量の少い河水を灌漑する地域では施肥によつて加里分を充分に補給しなければならない事は言を俟たない。

### 〔灌漑水中の炭酸石灰〕

炭酸石灰は水の反応即ち pH と密接な關係があつて炭酸石灰が多ければ水はアルカリ性反応を呈し少なければ中性又は酸性反応を呈する。灌漑水中の炭酸石灰の含有量は多い場合には 100 萬分中 50~60 に達するから、斯様な水を灌漑する水田には 1 夏に 1 段歩當り約 20 貢の炭酸

石灰が自然に供給される事になる。處が之に反して含有量の少い水からは殆ど供給されないのでなく、逆に硫酸や鹽酸の様な酸性物質を含有する爲灌溉水に適しない河水も存在する。斯様に炭酸石灰の含有量即ちアルカリ度も水によって大變な相違があるが、その原因はやはり上流の岩石や土壤の種類によつて左右される場合が最も多い。秩父古生層の様な石灰岩を含有する水成岩からの河川には炭酸石灰の含有量が多く、第三紀層の凝灰岩等の場合には少い傾向が認められる。東京灣に注ぐ荒川は大河川ではないけれども、水源に當る秩父の山嶺から1年間に溶かして海に流し込んでゐる炭酸石灰の量を分析結果から計算するに大凡5~6萬噸と云ふ大きな量に達する。この荒川は中流の熊谷市附近ではpH 8以上のアルカリ性反応を呈じてゐて、この水を灌溉してゐる同市附近の水田の土壤を檢べて見るにやはりpH 8以上のアルカリ性を呈してゐる。この機に石灰に恵まれた水を灌溉してゐる農家は前に記した加里の場合と同様に好運であると思ふ。斯様に炭酸石灰の多い河川の例としては東海道方面では大井川・安倍川・富士川等が舉げられるが、他の地方でも秩父古生層から流れ出してゐる河川には、程度の差はあるけれども大抵炭酸石灰が多いと思つて差支がない。之に反して例へば秋田縣下の第三紀層の凝灰岩及び安山岩から流れ出る河川は米代川筋に至ても雄物川筋に至ても、共に炭酸石灰が甚だ少くて酸性反応を呈してゐる。斯様な水を用ひる水田の土壤は酸性に傾き易いから稻ばかりでなく麥や紫雲英の裏作をする場合にも石灰を施して中和した方が好ましいわけである。

#### 〔灌溉水中の珪酸〕

珪酸は稻の生育に缺くべからざる重要な成分であつて珪酸を充分に吸收した稻は丈夫に育ち稻熱病等に對する耐病性が強いと謂れてゐる。この珪酸は水の中には相當多量に含まれてゐるから灌溉水として自然に供給される量は存外多いものである。特に我國の水には溶けてゐる珪酸の量が非常に多いと云ふ稻作上有利な條件に恵まれてゐて、分析結果では100萬分中10~50位含まれてゐるから、1段歩の水田には1夏の

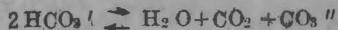
間に38~19貫、中庸の所では6貫位灌溉水から自然に供給されるわけである。これを全國内300萬町歩の水田に見積つて見るに大凡100萬噸に達する。この珪酸の含有量も加里や石灰と同様に流域の地質土性の種類やそれが風化を受けた程度等によつて相違するのであつて、一般に火山岩から流れ出る河水には高く水城岩から流れ出る河川には低い傾向が認められる。例へば九州の阿蘇や鷲島火山脈に屬する河川には非常に高くで100萬分中50以上のものがあるから、温泉等の特殊な場合を除けば、珪酸含有量の高い河水として恐らく世界にその類が少いであらう。

以上述べた様に灌溉水は流域の岩石や土壤の種類に因つて其の化學的性質を異にするものであり、且つ養分補給の面から見ても灌溉水が水稻上重要な役割を果してゐることが判る。以下湖沼と河川の水質について記して見よう。

**3. 湖沼の水質** 湖沼とは湖・沼・沼澤・池等の總稱であつて、河川に對して用ひられる言葉である。湖沼の水は殆んど全部大氣中の水蒸氣に由來するけれども、降水が直接に湖面に落ちて溜るよりも、間接的に地表水或は地下水となつて、即ち河水或は湖底の湧泉となつて湖沼に入る場合が多い。従つて湖沼の水質は受水地域の地質・土性・氣候・湖盆の形態等諸種の條件に因つて特徴づけられる筈である。併し他面夏季は水温の上昇に伴ひ生物が盛に繁殖するから、之に因つても水質は二次的に異状な變化を受ける。この點は既に内外の湖沼學者によつて研究されてゐるが、生物による水質の變化は興味ある研究題目であり、河川の場合と全く異なる現象であるから、之についても簡単に紹介しておく。

夏季に少し深い湖の水温の分布を見るに、密度の小さい高溫の水が上に、密度の大きい低溫の水が下になつて、循環するこなく層状に重なり合つたまま停滞してゐる。この夏季停滞期には水温のみでなく、生物の新陳代謝に伴つて化學的にも著しい成層現象が現れる。即ち日光の透通が充分で植物の繁殖が多い表水層では、同化作用によりCO<sub>2</sub>が消費されてO<sub>2</sub>が増加する。CO<sub>2</sub>が消費し盡されるに水中的重炭酸鹽が平衡を保つ爲に一部分分解して炭酸と炭酸鹽とに

なり



生じた $\text{CO}_2$ は生物により消費されるから、それを補ふ爲めに反応は右側に進み、水はアルカリ性となる。斯様な理由で藍藻・綠藻等の水草や植物性プランクトンの多い湖沼の表層水は夜間は中性であつても、日中には同化作用が進むにつれ強アルカリ性となり、夜に入るミ同化作用が止み中性に戻つて行く。この變化は日毎に繰り返される。亦之と共に植物は體中の蛋白質其他を形成する爲めに、水中のアンモニア鹽、硝酸鹽等の窒素化合物と磷酸鹽などを栄養分として攝取するから、植物の繁殖する表層では之等の鹽類が減少し、珪酸も珪藻の繁殖の際吸收され減少する。

之に反し湖沼の深層では日光が不充分であり植物が生育しないから、土層から沈下する生物の遺骸等の分解に因つて、 $\text{O}_2$ の消費が起り  $\text{CO}_2 \cdot \text{CH}_4 \cdot \text{H}_2\text{S} \cdot \text{NH}_3$  等が生じる。水中の $\text{O}_2$ が消費し盡され、なほ分解され易い有機物が存在するときは、泥土中に含まれる水酸化鐵・水酸化マンガンは還元されて  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  となり多量に水中に溶出する。又  $\text{SO}_4^{2-}$  は還元されて  $\text{H}_2\text{S}$  を生じ、 $\text{NO}_3^-$  は還元されて  $\text{NH}_4^+$  となる。

この様に表水層では  $\text{O}_2$  が増加し、窒素や磷酸鹽が減少し、又反応はアルカリ性となるのに對し、深層では  $\text{O}_2$  が消費されて  $\text{CO}_2 \cdot \text{CH}_4 \cdot \text{NH}_4^+ \cdot \text{PO}_4^{3-} \cdot \text{H}_2\text{S} \cdot \text{Fe}^{2+} \cdot \text{Mn}^{2+}$  を生じ、又  $\text{CO}_2$  の増加によつて反応は酸性に傾く。

勿論この化學的成層の状態は湖によつて著しく異つてゐる。例へば山間にある深い透明な、そして窒素・磷酸等の乏しいために生物の生產力の少い所謂貧栄養湖に於ては成層現象は殆ん

ど現れないが、平野地帶或は肥沃な耕地の間にあつて生物の多い富栄養湖では成層が最も顯著である。

僕は水田も考へ方によつては極めて淺い湖沼であるがら、その水中でも藻類の同化作用によつて晝間の反応がアルカリ性となる場合が屢々見受けられる。併し水田は非常に淺いから上澄水中の酸素による酸化作用は底泥の表面迄達して所謂酸化層を形成し、其の下側の青黒色の泥即ち還元層と呼ばれる部分が湖沼の深層と同様に還元的な状態となつてゐるわけである。

夏季停滞期に成層の顯著であつた富栄養湖も秋季循環期になるまで表水層の水温が降り對流が起きて上下の水が循環するから、化學成層は完全に消滅して水質は一樣となり、結氷期迄この循環状態が續く。結氷後は夏季とは反対に冷たい氷が上層に、温い $4^\circ\text{C}$  に近い氷が下層に重なり合つたまま停滞し、解氷後春季循環期を経て再び夏季停滞期となる。農家がよく冬の間に乾燥して自給肥料に使用する池沼の底泥も結局水中に溶けてゐた養分が夏季に生物體に吸收され、冬季に遺骸となつて沈積したものに外ならない。

以上の様に温帶地方の湖沼は生物の新陳代謝に伴つて興味深い化學變化を起す。然し乍ら筆者の意見では湖沼を農業的見地から研究する場合には、上記の現象とは比較的關係の少い加里・石灰・珪酸等の含量が灌漑水として主要な問題であるから、やはり受水地域の地質・土性・湖盆の形態等に因つて生じる湖沼の根本的な特徴を第一に調査しなければならないと思ふ。この様な見解のもとに筆者は湖沼の調査を行つてゐるが、其の成績は別の機會に發表することとする。