

## 2 ダム湖における表層と中層の水質比較

深澤喜延 小林 浩 鷹野茂夫 村松克彦

### Water Quality Comparison between Surface and Middle Layer in Two Reservoirs

Yoshinobu FUKASAWA Hiroshi KOBAYASHI  
Shigeo TAKANO and Katsuhiko MURAMATSU

1991年に本県の小規模ダム湖（清里湖）を水源とする上水道でかび臭が発生して、その対策としてダム湖に間欠式空気揚水筒などが導入された。我々は同年度の装置導入前後から水質浄化対策の基礎資料を得るため、自動測定器による垂直調査と採水試験を実施し、関係部局にその結果を報告してきた。

県内には清里湖と同様に水道水源となっているダム湖が他に2カ所（能泉湖、広瀬湖）ある。広瀬湖は1975年に、能泉湖は1986年に湛水が開始された、清里湖より先発のダム湖であるが、現在まで富栄養化による障害は発生していない。

これらのダム湖は「公共用水域水質調査」ポイントであり、表層を対象とした毎月調査の結果<sup>1)</sup>が公表されているが、深度別水質調査は行なわれていない。

そこで1994年から公共用水域水質調査を補完し、あわせて湖水質の特徴を明らかにする目的で、水源ダムについて最深地点における垂直調査を実施している。

1994年4月から1996年3月までの2年間の調査結果のうちの一部、表層（水深1m）と中層（20m）の測定結果の比較において興味ある知見が得られたので報告する。

#### 調査ダム湖の概要

今回調査しているダム湖の諸元を表1に示した。

広瀬湖は富士川支川の笛吹川上流にあり、その標高は1,050m、能泉湖は金峰山を源とする荒川上流に作られ、常時満水位は標高が800mである。

建設省河川局開発課監修の「ダム貯水池（湖）調査要領」によるダム、貯水池の特長分類<sup>2)</sup>によれば、広瀬湖、能泉湖はいずれも、目的・大きさ・滞留時間等から「タ

イプⅡ富栄養化調査」の対象（富栄養化の進行が予想されるダム貯水池）に位置付けられる。

表1 2ダム湖の諸元

項目	単位	能泉湖	広瀬湖
集水面積	(km <sup>2</sup> )	72.4	76.6
湛水面積	(km <sup>2</sup> )	0.41	0.55
総貯水容量	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	10.8	14.3
有効貯水容量	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	8.6	11.4
冬期利水容	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	6.1	10.3
夏期利水容量	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	3.3	5.2
堆砂容量	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	2.2	3.0
サーチャージ水位	(EL. m)	800.9	1,056
常時満水位	(EL. m)	794.5	1,054
夏期制限水位	(EL. m)	783.7	1,043
最低水位	(EL. m)	767.0	1,026
基礎岩盤	(EL. m)	720.0	982.5

#### 調査方法

頻度：毎月（月末）

調査地点：ダム湖の最深部に当たる地点

測定機器：CTIS P1008N型 多項目自動測定装置

測定項目：水深、濁度、溶存酸素、導電率、酸化還元電位、pH値、水温、665nm吸光度

測定深度：0, 1, 2, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 m以下5 m毎

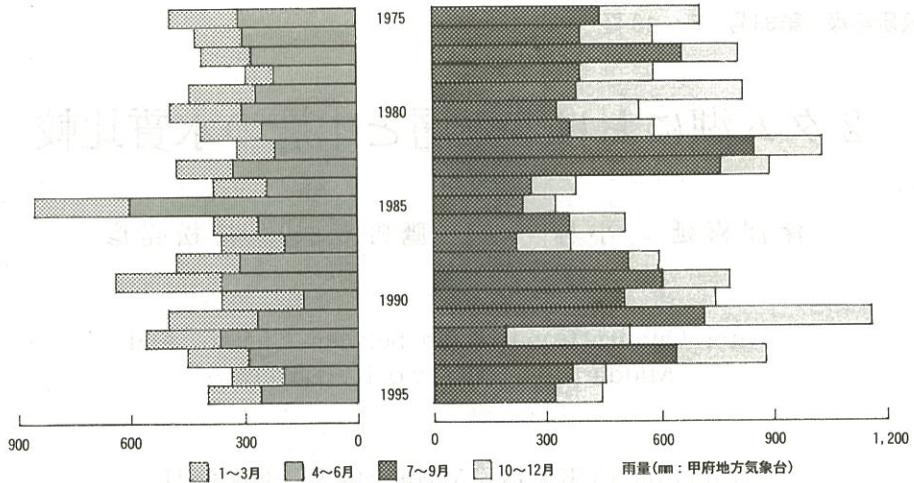


図1 甲府地方気象台における季節別降水量 (1975~1995)

## 結果と考察

### 1. 1994, 1995年度の気象状況

1993年から1995年の3年間は、山梨県は特異な気象状況にあった。甲府地方気象台の観測結果<sup>3)</sup>によれば、同じ8月の平均気温が、1993年は24.8℃(10年間平均比-1.6℃)の冷夏であったのに対し、1994年は28.1℃

(同比+1.7℃)であり、特に8月4日には39.8℃を記録した猛暑であった。1995年もこの傾向を引き継ぎ、同月の平均気温が28.7℃(同比+2.3℃)に達した。

同じ甲府地方気象台のデータによれば、降水量は1993年が1,329.0mmと平年を上回ったのに対し、1994, 1995年は大きく下回り、特に1994年の雨量は10年間の年間雨量の平均値を29.2%下回る795.5mmにとどまった。この値は10年間で2番目に少ない雨量であった。

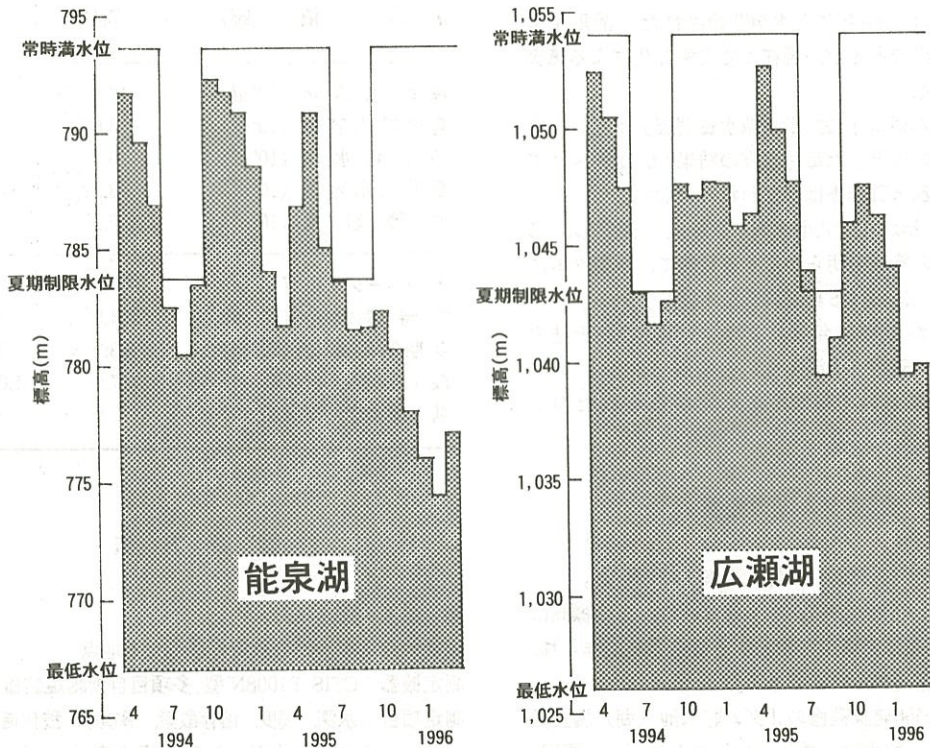


図2 調査時における水位

過去 21 年間の降水量を降雪期（1～3月）、梅雨期（4～6月）、台風期（7～9月）、秋雨期（10～12月）に分けて図1に示した。7月から9月にかけての台風期は年毎の降水量の変動が大きく、この時期の最高は1982年で、1995年の年間総降水量（845mm）に匹敵する848.5mmを記録した。両湖を調査した1994、1995の両年は、総降水量が少なかったことに加えて、年後半、特に秋雨期の降水量が少なかったことが特徴としてあげられる。

## 2. 調査ダム湖の水位の変動

1994年4月から1996年3月までの両湖調査時における水位変動を図2に示した。両湖は多目的ダムであり、台風期には洪水調整を目的とした制限水位を設けている。

能泉湖は1995年3月に夏期制限水位を割り込む状態が観察されたが、この時期は建設省の調べで北海道、東北地方を除く全国の大規模な主要ダムにおいて貯水量が過去最低レベルにあることが報じられている<sup>4)</sup>。梅雨期には一時水位が回復したが、1995年の夏期制限水位解除後は再び低下傾向が続き、12月以降は8年ぶりの「寒い冬」を迎えて湛水開始以来はじめての全面結氷も観察され、貯水率が年末には32%<sup>5)</sup>、1996年2月には22%<sup>6)</sup>に下がった。

広瀬湖は1994年後半から1995年前半にかけては、常時満水位を維持するには至らなかったものの、能泉湖に比較して変動幅は小さかった。1995年11月には前年レベルに回復したが、その後は厳寒期に入り上流部の凍結によって流入量が減少し、能泉湖と同様の経過をたどった。

## 3. 表層（1 m）と中層（20 m）の測定値の比較

24回の調査の機会があったが、能泉湖において1996年2月に凍結のため、広瀬湖においては1995年2月と1996年2月と3月に同じく凍結によって、さらに1995年12月は強風のために湖上調査ができなかった。

両湖の常時満水位における「ダム貯水池水性調査要領」

による平均水深（広瀬湖：26.3 m、能泉湖：26.0 m）はほぼ同じであるが、調査時の水位は常に変動しており、湖面上の定点で測定した同一水深であっても湖底からの高さは同じではない。能泉湖での水面の高さ（標高）の差は最大で18 mであり、広瀬湖では13 mであった。したがって、今回の表層と中層の比較はあくまでも同一水深での単純な比較であり、今後さらに掘り下げた解析が求められる。測定項目のうち、水温、pH値、導電率ならびに溶存酸素について、表層（1 m）と中層（20 m）での測定値を比較し、1994年度、1995年度の特徴と、両湖の類似性と相違点について考察する。

### (1) 水温

調査時における能泉湖の表層の最高水温は、1994年が25.7℃（7月）、1995年が26.6℃（8月）であり、広瀬湖では1994年が23.8℃（7月）、1995年が22.6℃（8月）であり平均水温において能泉湖が約2℃高かった。

表層と中層における水温の差は湖水の循環によって低下し、成層によって拡大するが、能泉湖と広瀬湖の表層と中層の水温差を図3、図4に示した。

能泉湖においては両年ともに4月から成層が始まり、7、8月に最大の水温差が観察された。9月以降気温の低下にともなって水温差は減少したが、11月に至って一気に秋季循環が始まったことが知られた。暖冬であった初年度と、結氷をみた次年度では冬期（12月と1月）における温度差に特徴的な違いが観察された。

標高が250 m高い広瀬湖では、夏期においてもその水温差は20℃を超えることはなく（図4）、夏期の成層期が短いことがうかがわれるが、垂直測定の結果からは形成した成層の形態が異なっていた。すなわち、能泉湖では水温躍層が水深5 m程度にとどまっていたのに対して、広瀬湖では20 m付近にまで達していた。その差の原因としては、両湖の総貯水容量と流入量から求められる滞留時間（広瀬湖：45日、能泉湖：117日）の差と、ダム

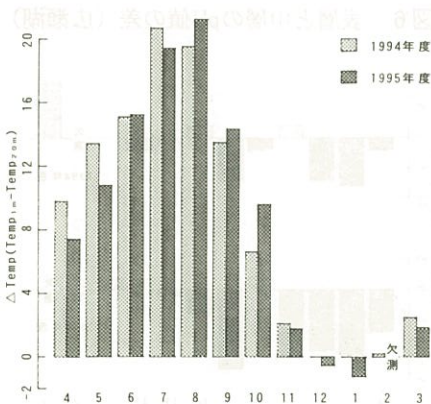


図3 表層と中層の水温の差（能泉湖）

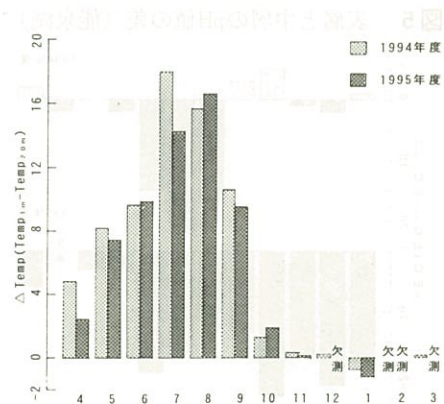


図4 表層と中層の水温の差（広瀬湖）

湖独特の人為的な水位の調整とが考えられた。10月には既に循環がほぼ完了し、11月から翌年3月までは水温差が±2℃以内であった。

## (2) pH 値

調査時における表層での pH 値の最高は、能泉湖が1994年は7.8を9月に、1995年は7.7を7月に記録した。広瀬湖では1994年が7.6、1995年が7.4を同じく7月に記録した。

湖水の pH 値は、流入水の液性と湖水中での生物の活動により左右されるが、夏期においては表層において藻類が増殖することによって、水中の炭酸成分を固定して液性をアルカリ側に移行させる<sup>7)</sup>ことが知られている。また底層に近い付近については、夏期に成層が完了してからは沈降した有機物質の分解に溶存酸素が消費され、産生する二酸化炭素によって pH 値を低下し、底質からの無機成分のイオン化が進行する<sup>7)</sup>ことが知られている。

したがって、表層と中層の pH の差は、表層での生物活性と、中・底層での微生物の活動から生じる。

図5、図6に能泉湖と広瀬湖の pH 値の差 ( $\Delta$ pH) を示した。両湖の  $\Delta$ pH は、能泉湖が大きく広瀬湖が小さい傾向が認められた。

能泉湖では1994年と1995年の夏期の比較では差が拡大したが、1995年の流入量減少による貯水量低下が原

因して、水深20mの測定位置が湖底に近かったことによると考えられた。1994年8月に表・中層の  $\Delta$ pH が一時的に解消したが、その原因については不明であった。冬期には両年ともに  $\Delta$ pH が0であった。

広瀬湖においては、表・中層の  $\Delta$ pH は能泉湖を下回っていたが、水温差の項で指摘したことが原因と考えられた。冬期には能泉湖と異なった傾向がみられたが、凍結に至る表層水温の低下が、相対的に高温の流入水の潜り込みを促したことによると考えられた。

## (3) 導電率

導電率は水中に溶解している無機イオン総量の指標であり、水質の特徴を反映している。したがって流入河川水の水質、貯水量、底質成分からの無機イオンの溶解等の要因によって変化する。

調査時における表層(1m)の導電率( $\mu$ S/cm)は、能泉湖で1994年度は52~88、1995年度は59~85の範囲にあり、広瀬湖は1994年度が51~64、1995年度は53~71の範囲にあった。流入河川水は1995年度に測定(12回)したが、能泉湖への流入水の導電率は46~140、広瀬湖への流入水は42~89の範囲にあり、渇水期における数値の上昇が観察された。特に、能泉湖上流には発電用の取水口があり流入量が極端に減少し、12月から2月にかけては100を超えていた。

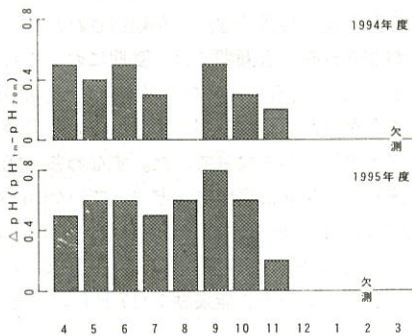


図5 表層と中層のpH値の差(能泉湖)

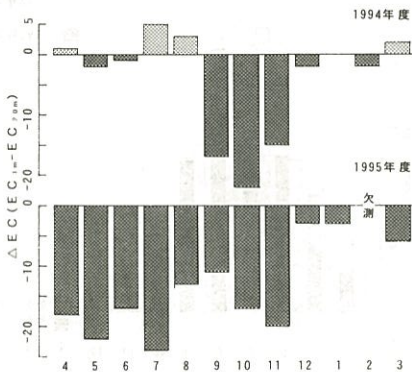


図7 表層と中層の導電率の差(能泉湖)

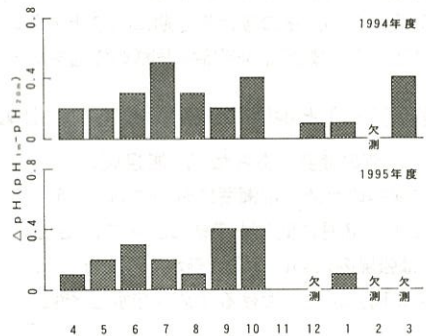


図6 表層と中層のpH値の差(広瀬湖)

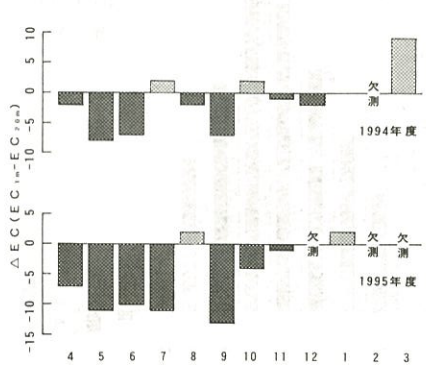


図8 表層と中層の導電率の差(広瀬湖)

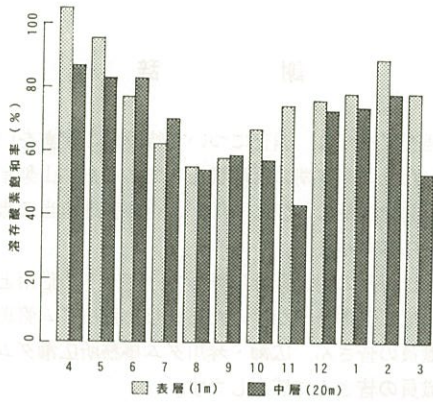


図9 表層と中層の溶存酸素飽和率（能泉湖：1994年度）

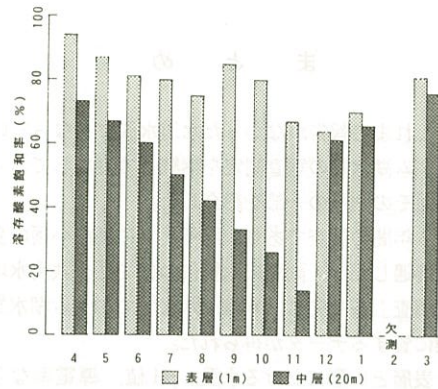


図10 表層と中層の溶存酸素飽和率（能泉湖：1995年度）

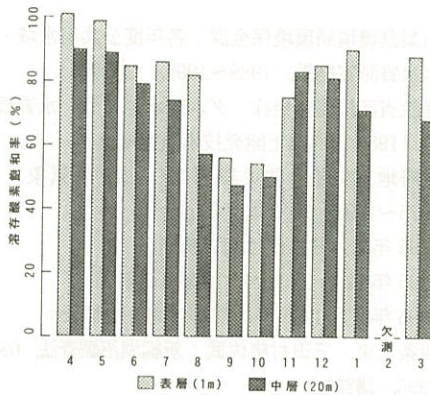


図11 表層と中層の溶存酸素飽和率（広瀬湖：1994年度）

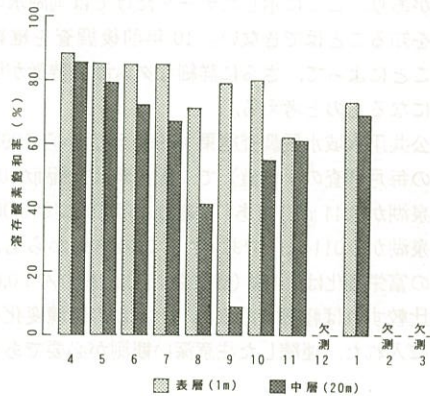


図12 表層と中層の溶存酸素飽和率（広瀬湖：1995年度）

表層と中層における両湖の導電率の差 ( $\Delta EC$ ) の経月変化を図7、図8に示した。

能泉湖では1994年度と1995年度でそのパターンが大きく異なっていた。1994年度には表・中層の $\Delta EC$ の拡大は成層期末期にのみみられたのに対して、1995年度は成層開始と同時に10~25の $\Delta EC$ が観測され、循環期に移行するまで継続した。その原因としては先にも述べたように、1995年は水位が連続的に低下しそれに伴って水深20mの測定ポイントが湖底に近かったこと、導電率が高い値で推移した流入河川水の水温差による潜り込みによるものと考えられた。

これに対して広瀬湖では1994年度と1995年度との比較では能泉湖に類似した傾向も認められたが、 $\Delta EC$ の最大値は13に止まった。これは両年度ともに水位の変動が能泉湖と比べて小さく、水深20mの測定ポイントが常に湖底から10m以上離れており、湖底からの無機イオンの影響が少なかったことと、流入河川水の導電率の変動が小さかったことによると推定された。

#### (4) 溶存酸素

表層における水中の溶存酸素量は水温と気圧によって

その飽和量が決まっているが、酸素量は水中の生物相や底質の有機・無機成分の酸化還元反応に影響を与えている。

各調査時点における溶存酸素量から、同時に測定した水温によって飽和率を算出して図9、図10に能泉湖の各年度における経月変化を、図11、図12に広瀬湖の各年度における経月変化を示した。

能泉湖においては、1994年度は8、9月に飽和率の低下があったが、成層期にも表層と中層での溶存酸素飽和率に顕著な差は認められなかった。これに対して1995年度は水深20mでの酸素の飽和率が成層終了時まで直線的に低下した。この時期、湖底では全くの無酸素状態を観測している。このことは $\Delta pH$ 、 $\Delta EC$ の項で指摘した原因を裏付ける結果でもあった。

広瀬湖においては、1994年度は9、10月の表層での飽和率が60%を下回ったが、それ以外の測定時には80%以上を維持していた。1995年度には弱いながらも能泉湖と類似したパターンが生じた。すなわち、水位が低下した8、9月に中層における飽和率が急激に低下した。この時期は能泉湖と同様に、湖底付近では無酸素状態を出現していた。

## ま と め

1. これまで報告がなかった水道水源にもなっている2ダム湖水質の垂直測定を継続して実施しており、今回その結果の一部を紹介した。
2. 2年間の調査であり、両年ともに高温小雨の夏期に遭遇したが、両湖の水質について「公共用水域水質調査」を補完し、水道原水としてのダム湖水質管理に資するデータが得られた。
3. 表層と中層における水温、pH値、導電率ならびに溶存酸素量の差を図で示したが、ダム湖の水質は気象条件に左右されるとともに、人為的な水位の調整があり、ここに示したデータだけでは両湖水の全容を知ることにはできない。10年前後調査を継続することによって、さらに詳細なダム湖の特徴が明らかになるものと考えられる。
4. 公共用水域水質調査結果（1990年度から1993年度の毎月調査の平均値）で、総窒素は広瀬湖が0.32、能泉湖が0.44 mg/lであり、総りんは広瀬湖が0.0091、能泉湖が0.011 mg/lであった。この結果からも、両湖の富栄養化は清里湖（総窒素：1.02、総りん：0.025）に比較すれば軽微であるが、上流部の環境変化を考慮に入れた、連続した注意深い観測が必要である。

## 謝 辞

本調査にあたり、調査について特段のご配慮をいただきました、両ダム湖の管理責任者であります山梨県土木部河川開発課長ならびに同課ダム企画管理担当の職員の皆さんに感謝します。

また、毎月の湖上調査に際して、ボートの借用と操縦についてご苦勞をおかけいたしました荒川ダム管理事務所の職員の皆さん、広瀬・琴川ダム事務所広瀬ダム管理課の職員の皆さんに感謝します。

## 文 献

- 1) 山梨県環境局環境保全課：各年度公共用水域・地下水水質測定結果、1989～1994、山梨県
- 2) 建設省河川局開発課：ダム貯水池（湖）水質調査要領、1980、(財)国土開発技術研究センター
- 3) 甲府地方気象台防災業務課：山梨県気象月報、1975～1995、(財)日本気象協会
- 4) 1995年4月6日づけ朝日新聞
- 5) 1995年12月28日づけ山梨日日新聞
- 6) 1996年2月14日づけ朝日新聞・山梨版
- 7) 西条八束、三田村緒佐武：新編湖沼調査法、69～73、1995、講談社