

珠穆朗玛峰地区水化学特征

中国科学院西藏综合考察队 表生地球化学组

地理研究所

1972年9月

珠穆朗玛峰地区水化学特性

高山地区的水化学研究较少。研究高山地区的水化学特性，搞清它和自然地理环境的相互关系，是具有一定的理论价值和实践意义的。

喜马拉雅山也分布着许多规模巨大的现代冰川，根据我们初步考察，几乎所有的河流、湖泊和地下水都不同程度受冰川融水的补给。为了充分合理地利用冰川的水流，不仅需要研究各种类型水体的水文，而且还要搞清它们的水化学特征。

珠穆朗玛峰（以下简称“珠峰”）地区的水化学不但和大喜马拉雅山水化学带具有一般相同的特征，而且还具有它特有的典型性。本文的目的在于提供珠峰地区的水化学资料，并探讨水化学特征的形成过程及其在不同自然带中的变化规律。

在伟大的无产阶级文化大革命中，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我们参加了中国科学院组织的珠峰地区的多学科考察，进行了水化学的调查和考察。整个工作由表生地球化学组完成，参加人员为地理所章中和于维新。野外工作得到冰川沙漠冻土研究所和科考队其它专业组同志的大力协助。文中所附水化学分析结果主要由中国科学院地理所分析室陈超子、王同山、杜丽华、赵乃芹等同志完成。1964年希夏邦玛峰地区部分水化学资料由冰川、冻土沙漠研究所提供，系该所王平、励功树、吴紫旺等同志分析。盐湖水化学资料由中国科学院地质所提供。

一、概 况

水化学的考察是围绕珠峰为中心进行的。工作范围为朋曲河以南，国界以北，东起定日，西至吉隆。

本区河流、湖泊的形成受构造的影响较大。山北侧的河流往往沿东西向断裂线发育，河谷宽坦，谷坡平缓，河流流速较慢，主要汇入外流的朋曲河水系。山南侧的河流多受近南北向的断裂控制，侵蚀作用很强，形成V字形深谷，水流湍急。本区湖泊大多数发育在第四纪断陷盆地中。

珠峰地区水化学特征和自然地理环境的关系是极为密切的。高大的山体一般在海拔5000公尺以上便是冰雪景观，以珠峰为中心发育着许多巨大的现代山谷冰川，常呈树枝状向四周散射，冰川末端在喜马拉雅山脉北侧可延伸到海拔5100公尺左右，山南侧延伸到海拔4600公尺。冰川融水是本区河流、湖泊和潜水的主要补给来源。

由于本区高大的山体阻碍了北下的干寒西风和南上的温湿西南季风互相交流，形成了珠峰南北侧截然不同的气候带：南侧温湿多雨而北侧干旱寒冷，所以南侧的降水补给多于北侧。

工作地区珠峰山地北侧主要分布着第四纪、第三纪、中生代和新生代的沉积物和沉积岩；而南侧主要是前寒武纪的各种变质岩。南北自上到下可划分为高山寒冻——地衣岩屑带，高山寒冻——草甸、垫状植被带，高原寒冷半干旱——草原带三个自然带，南坡自上到下可划为高山寒冻——地衣岩屑带，高山寒冻——草甸植被带，亚高山寒冷——灌丛草甸带，山地寒湿——针叶林带，山地暖湿——针阔混交林带，山地亚热——常绿阔叶林带等六个自然带（各9）^{*}。发育在不同岩性和不同自然带谱内的南、北坡河流形成了完全不同类型的水化学特征。

二、天然水的水化学基本特征

1、天然水的矿化度、化学组成和类型。

*

根据珠峰科考队自然地理组资料。

表1

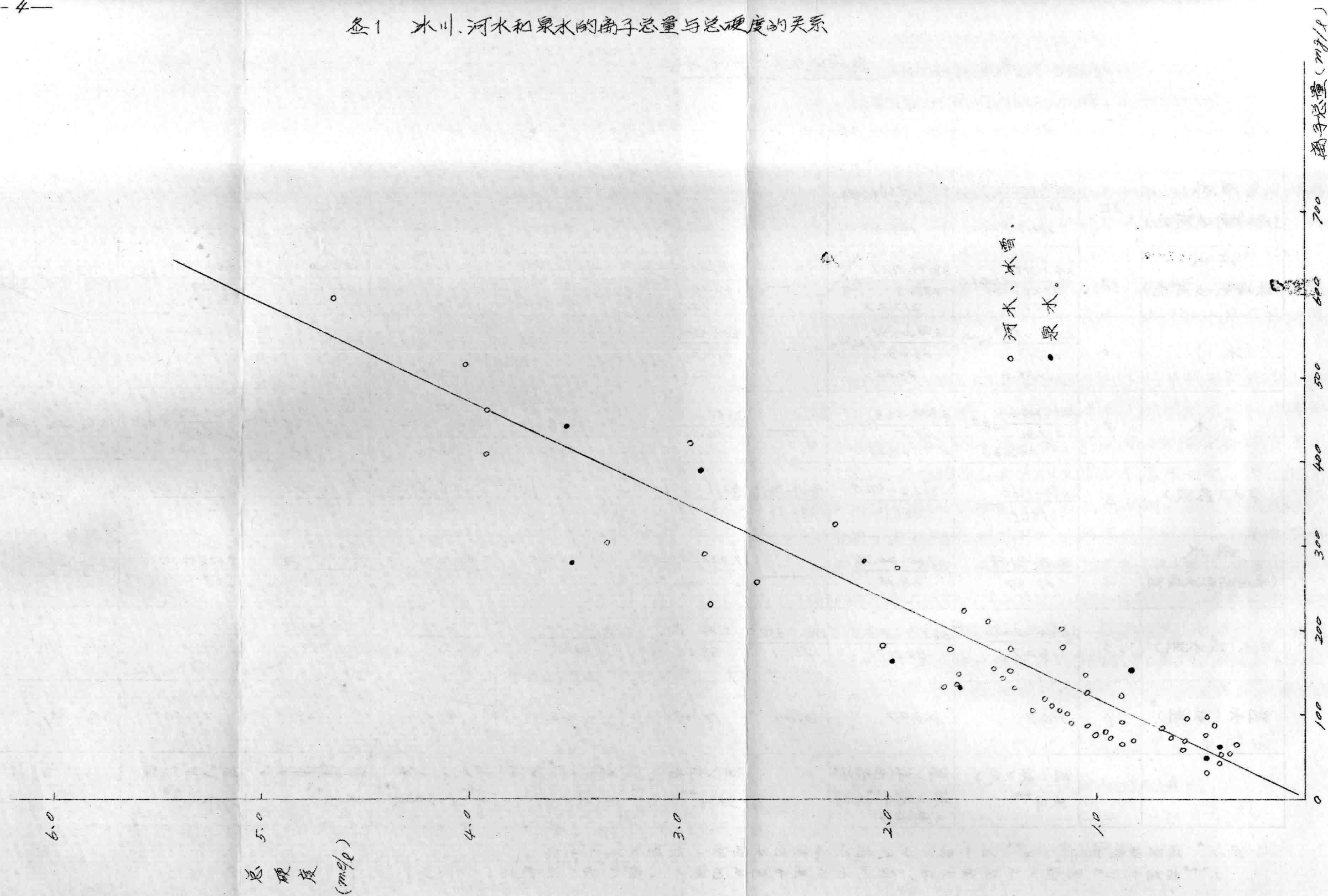
珠峰地区天然水化学组成和类型 (最低值—最高值 (主要分布范围), 单位 mg/l)
平均值

天然水种类	样品数	离子总量	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{++}	Mg^{++}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	主要水化学类型
河水 (珠峰南坡河流)	22	$\frac{32.07-595.5}{151.5}$ (32.07-171.7)	$\frac{6.498-244.1}{59.54}$ (6.498-148.3)	—	$\frac{6.539-305.5}{48.12}$ (6.539-63.42)	$\frac{1.014-7.305}{3.75}$ (1.014-5.071)	$\frac{3.605-69.10}{20.83}$ (3.605-59.10)	$\frac{0.7276-37.14}{5.112}$ (0.7296-8.427)	$\frac{1.235-89.55}{16.43}$ (1.235-28.33)	$\text{SO}_4^{2-}-(\text{Ca}^{++}, \text{Na}^+)$
河水 (珠峰北坡河流)	17	$\frac{104.1-517.1}{259.1}$ (104.1-517.1)	$\frac{38.99-217.2}{139.3}$ (114.1-217.2)	—	$\frac{\text{痕跡}-155.3}{42.66}$ (6.443-121.3)	$\frac{2.535-13.16}{6.618}$ (2.535-9.255)	$\frac{9.419-59.22}{31.42}$ (9.419-59.22)	$\frac{0.2432-22.76}{7.52}$ (0.2432-16.77)	$\frac{0.650-73.17}{29.39}$ (0.650-73.17)	$\text{HCO}_3^--(\text{Ca}^{++}, \text{Na}^+)$
冰川	10	$\frac{68.26-155.3}{107.7}$ (68.26-155.3)	$\frac{32.88-103.92}{63.43}$ (32.88-93.85)	—	$\frac{3.39-12.60}{8.813}$ (3.39-12.69)	$\frac{4.184-9.127}{6.712}$ (5.567-9.127)	$\frac{4.709-23.85}{11.56}$ (4.709-23.85)	$\frac{0.6017-6.572}{3.51}$ (0.602-4.286)	$\frac{1.825-20.36}{13.67}$ (12.65-20.36)	$\text{HCO}_3^--(\text{Na}^+, \text{Ca}^{++})$
泉水	9	$\frac{49.45-442.6}{217.4}$ (153.2-442.6)	$\frac{6.498-311.8}{119.5}$ (53.29-93.85)	—	$\frac{7.452-106.6}{36.71}$ (7.452-40.35)	$\frac{1.014-9.127}{4.729}$ (1.014-9.127)	$\frac{2.403-62.71}{25.54}$ (2.403-39.10)	$\frac{0.603-19.42}{8.23}$ (0.603-19.42)	$\frac{4.368-51.45}{22.64}$ (4.368-51.45)	$(\text{HCO}_3^-, \text{SO}_4^{2-})-\text{Na}^+$
泉水(温泉)	2	$\frac{14.88-156.3}{1525.5}$	$\frac{862.2-911.0}{586.6}$	$\frac{71.37-74.55}{72.96}$	$\frac{23.06-27.67}{25.37}$	$\frac{70.99-72.76}{71.88}$	$\frac{22.85-38.40}{30.63}$	$\frac{10.21-12.05}{11.13}$	$\frac{408.5-445.3}{426.9}$	$\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$
湖水 (冰面湖和冰碛湖)	2	$\frac{56.76-81.98}{69.37}$	$\frac{27.40-40.76}{68.16}$	—	$\frac{9.328-11.30}{10.32}$	$\frac{3.475-8.425}{5.91}$	$\frac{5.180-7.936}{6.558}$	$\frac{\text{痕跡}-5.429}{2.714}$	$\frac{8.625-10.89}{8.76}$	$\text{HCO}_3^--(\text{Ca}^{++}, \text{Na}^+)$
湖水(咸水湖)	3	$\frac{1664-2000}{1827}$	$\frac{682.8-949.5}{842.7}$	$\frac{145.5-332.5}{253.1}$	$\frac{12.84-211.7}{88.58}$	$\frac{31.05-100.4}{63.29}$	$\frac{3.948-7.816}{5.30}$	$\frac{23.47-147.0}{67.44}$	$\frac{335.0-636.0}{502.1}$	$\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$
湖水(盐湖)*	1	116.7	0.497	0.114	79.14	4.42	0.581	11.29	20.66	$\text{SO}_4^{2-} - \text{Mg}^{++}$
		湖>泉>河>冰川**	湖>河(北坡)和泉>冰川**和河(南坡)		湖>河和泉>冰川**	湖>冰川**>河和泉	河和泉>冰川**>咸水湖***	湖>泉和河>冰川**	湖>河和泉>冰川**	

注: * 咸湖单位克/升。 ** 为了统计方便把冰碛湖和冰面湖一起列入冰川一项。

*** 盐湖中 Ca^{++} 的量大于所有水体, 但之比盐湖中的其它离子含量是微不足道的。

表1 冰川、河水和泉水的离子总量与总硬度的关系



珠峰地区各种天然水的矿化度相差很大，化学组成和类型的变化较大。尤其是河水，随着自然地理条件如地形、岩性、生物、土壤和气候的变化化学组成和水化学类型差别很大。一般情况下，矿化度较低的是冰川，常在100毫克/升以下，大多为 $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ 型水。矿化度最高的是盐湖，离子总量达16.7克/升。珠峰地区广泛分布的是低矿化水，离子总量位于30—500毫克/升之间（常为 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{++}$ 或 $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ 型水。各种天然水体的矿化度

一般顺序为：湖 Σ 离子 > 泉 Σ 离子 > 河离子 > 冰川 Σ 离子（见表1）。这种顺序除了决定于水体本身的特意外，主要是由它们所处的自然地理环境所决定的。高矿化度的湖泊分布在喜马拉雅山中段的北侧，在半干旱的大陆性气候环境中，湖水不断蒸发浓缩，使离子总量愈来愈大，不断朝着咸水湖和盐湖的方向发展。冰川主要是依靠大气降水补给的，所以矿化度较低。河水的矿化度介于冰川和湖水之间，这是因为本区常有矿化度较高的泉水补给河流，另外，本区河流行程较长，在与流域的地面物质如岩石、风化壳和土壤等的作用下，河水溶解了一定数量的化合物，使矿化度有所增加。

珠峰地区各类天然水体的化学组成，在阴离子中，除了盐湖和南坡一部分河水中的 SO_4^{--} 占优势外，其它普遍以 HCO_3^- 为主，在阳离子中，则 Ca^{++} 常占优势，但也有一部分水体 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量较高。

冰川的化学成分主要由大气降水所决定，它的离子含量顺序为： $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--}$ ； $\text{Na}^+ + \text{K} > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$ 。

河水按照水化学组成的特点可分为二类：北坡处于半干旱区的河水以 HCO_3^- 为主；南坡处于半湿润区的河水常以 SO_4^{--} 占优势。离子含量顺序北坡河水为 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^-$ ；

$Ca^{++} > Na^{+} + K^{+} > Mg^{++}$ 。南坡河水为 $SO_4^{--} > HCO_3^{-} > Cl^{-}$;
 $Ca^{++} > Na^{+} + K^{+} > Mg^{++}$ 。这里特别需要指出的是虽然南坡河水阴离子中 SO_4^{--} 含量常占优势, 但它的绝对含量并不比北坡河流高。在大多数情况下, SO_4^{--} 绝对含量反而比北坡河水低。

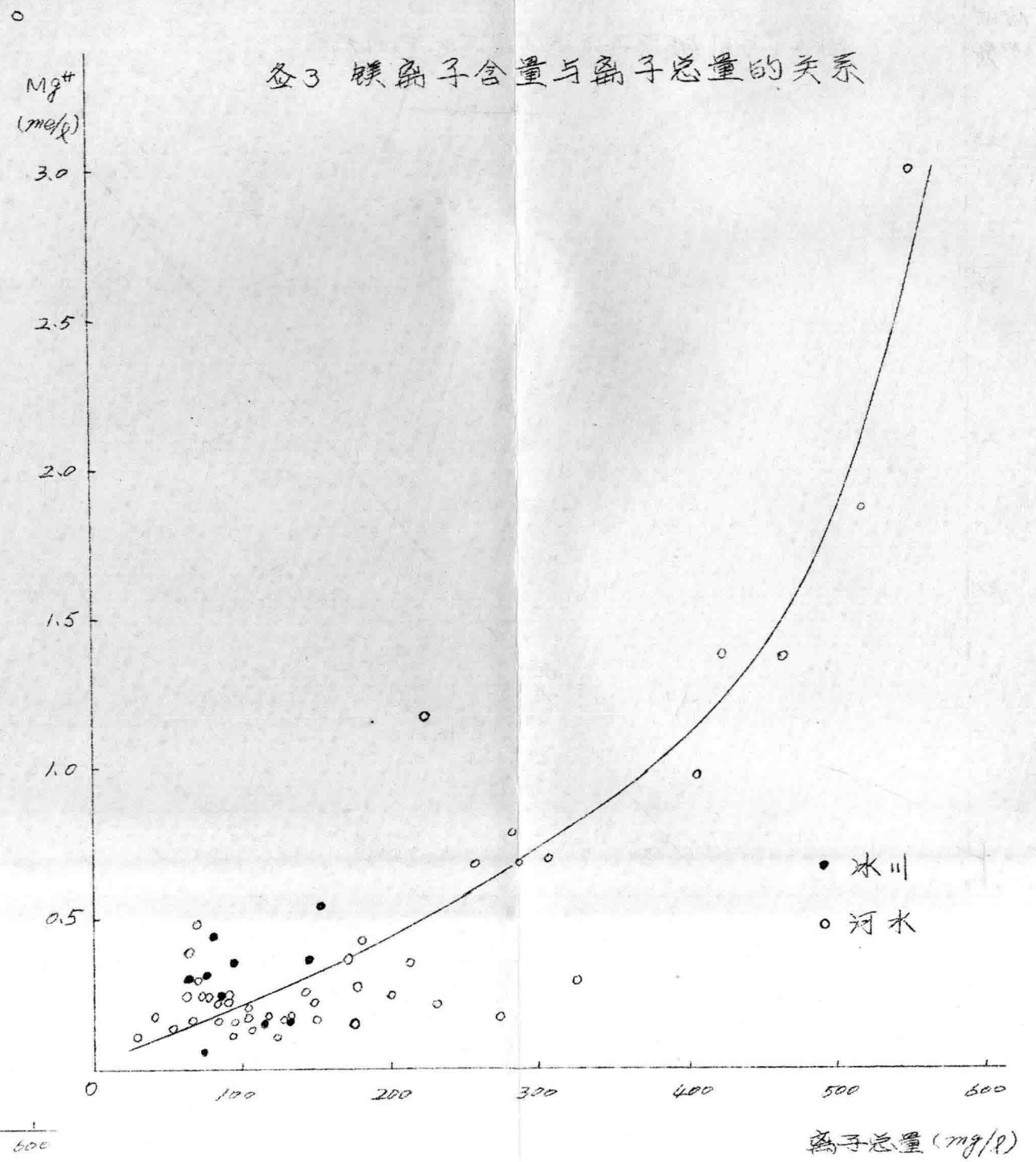
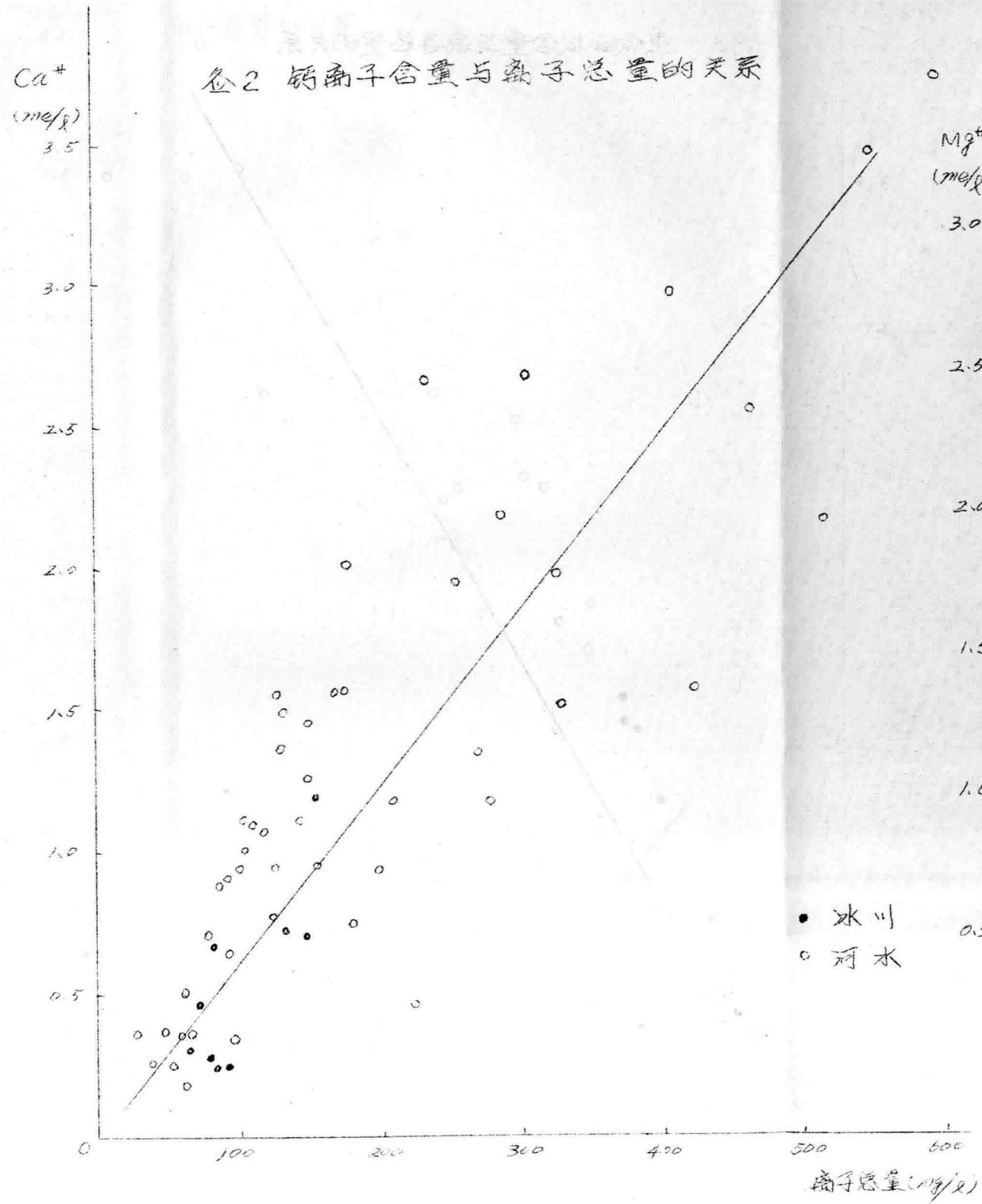
本区的泉水由于它们接触不同性质的围岩和沉积物, 因此它们的化学成分各不相同。其中以波曲河谷地带流出的热泉矿化度为最高 (1.5 克/升), 一般以裂隙水出露地表的冷泉矿化度很低 (50—60 毫克/升)。

本区内陆湖泊在向咸水湖和盐湖转化的过程中 HCO_3^{-} 和 Ca^{++} 不断减少, 在一定的阶段出现了 CO_3^{--} 离子, 与此同时, SO_4^{--} 、 Mg^{++} 、 Na^{+} 和 K^{+} 等离子的含量逐渐增高。咸水湖的离子含量顺序为 $HCO_3^{-} > CO_3^{--} > Cl^{-} > SO_4^{--}$; $Na^{+} + K^{+} > Mg^{++} > Ca^{++}$ 。盐湖的离子含量顺序为 $SO_4^{--} \gg Cl^{-} > HCO_3^{-} > CO_3^{--}$; $Mg^{++} \gg Na^{+} + K^{+} > Ca^{++}$ 。

2. 天然水体的矿化度和硬度以及矿化度与各种离子含量的关系。

本区冰川、河水、泉水 (主要是浅层裂隙水, 不包括热泉) 的总硬度几乎都小于 5 毫克当量/升, 一般在 0.5—3 毫克当量/升之间, 为极软水和软水。水体的总硬度是随着矿化度的增加而增加的, 这可以从各图清楚地看出, 这种线性关系在很大程度上是和钙离子有关的, 这一方面是由于本区冰川、河水和泉水中钙离子的含量常常大大地超过镁离子。另一方面是水体的矿化度和钙离子含量的正相关关系优于与镁离子的正相关关系 (各图 2、3)。

关于天然水体的矿化度与其它阴阳离子含量的关系是比较复杂的。其中 HCO_3^{-} 和 Ca^{++} 的含量是随着矿化度的增



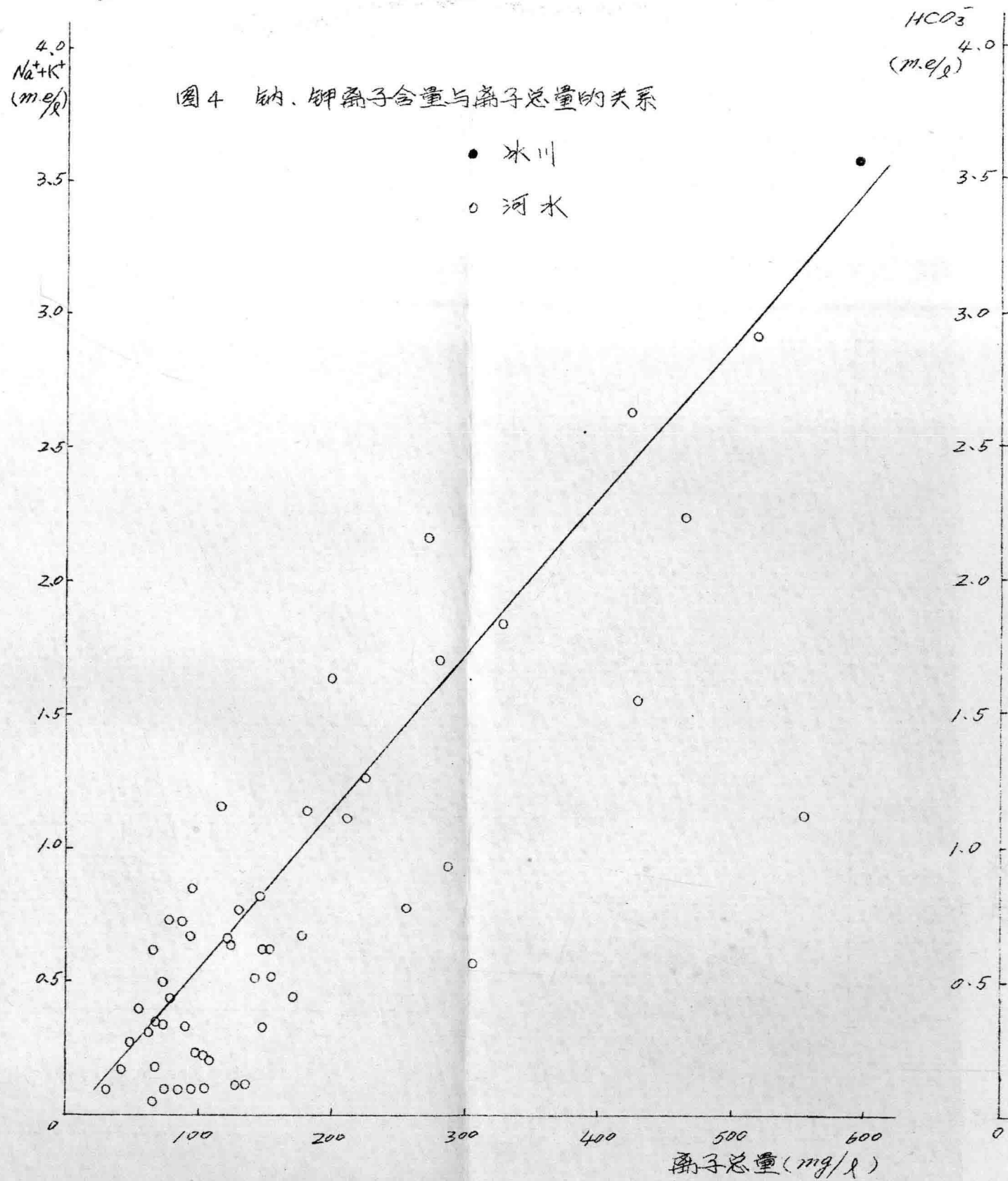
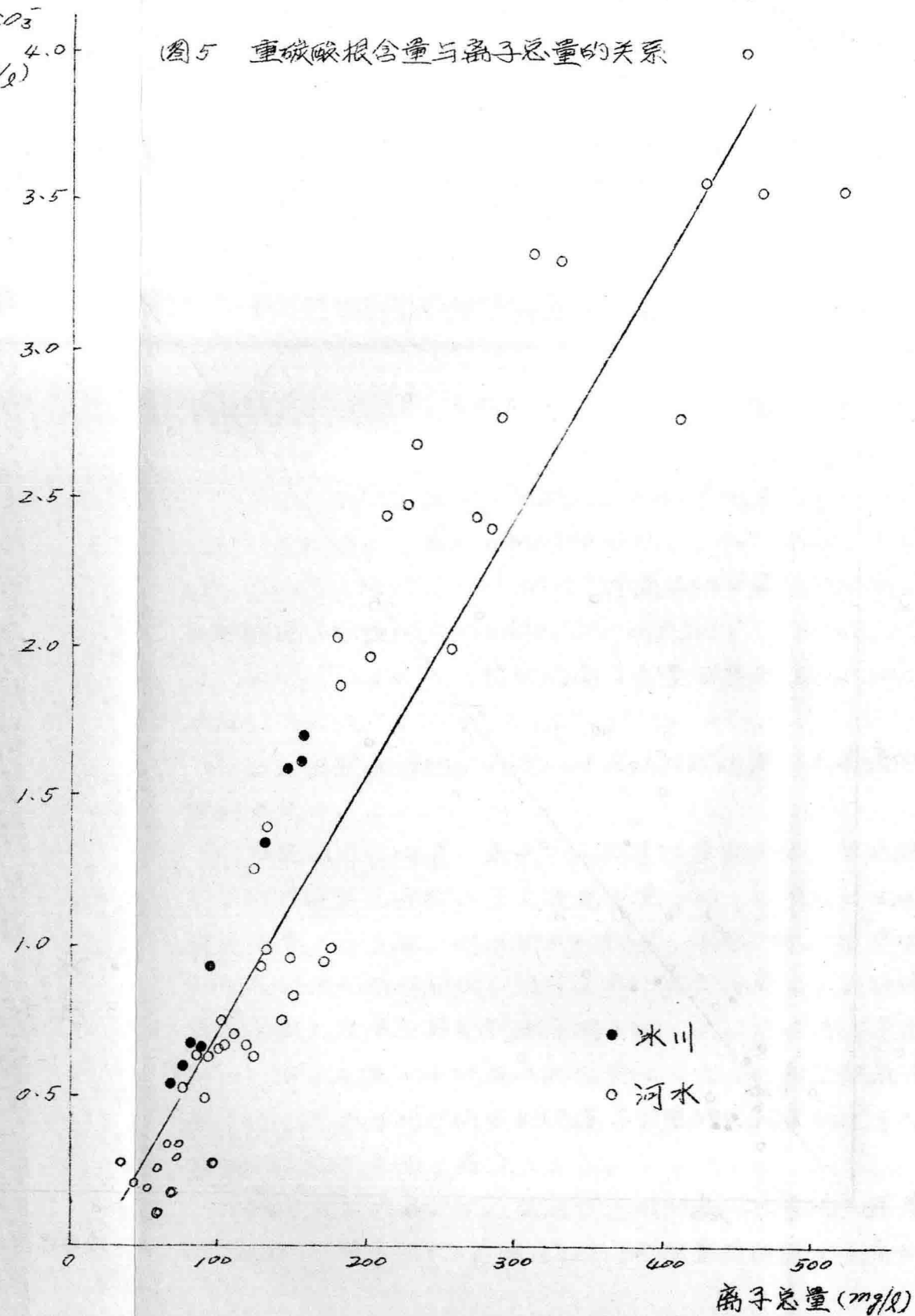
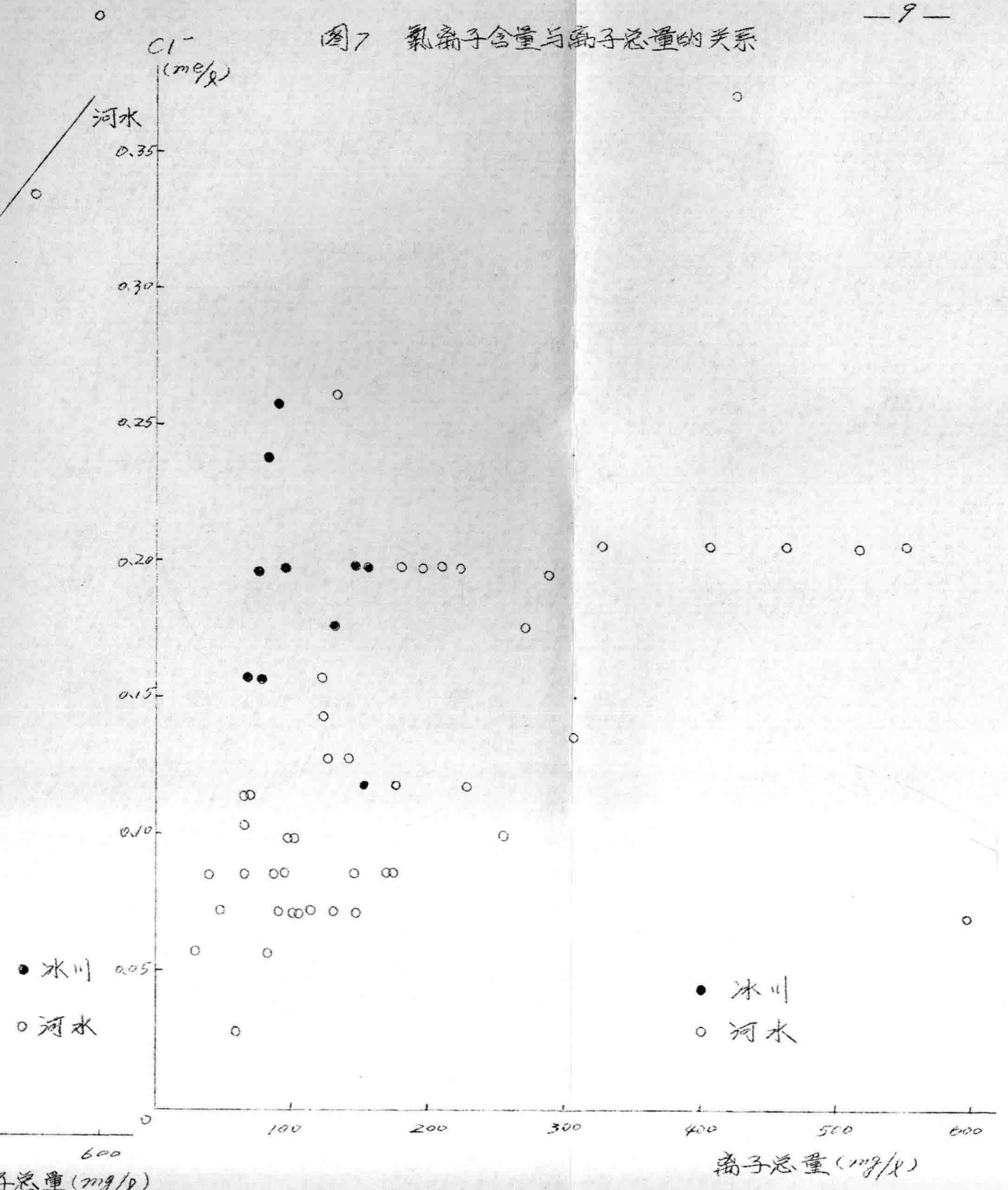
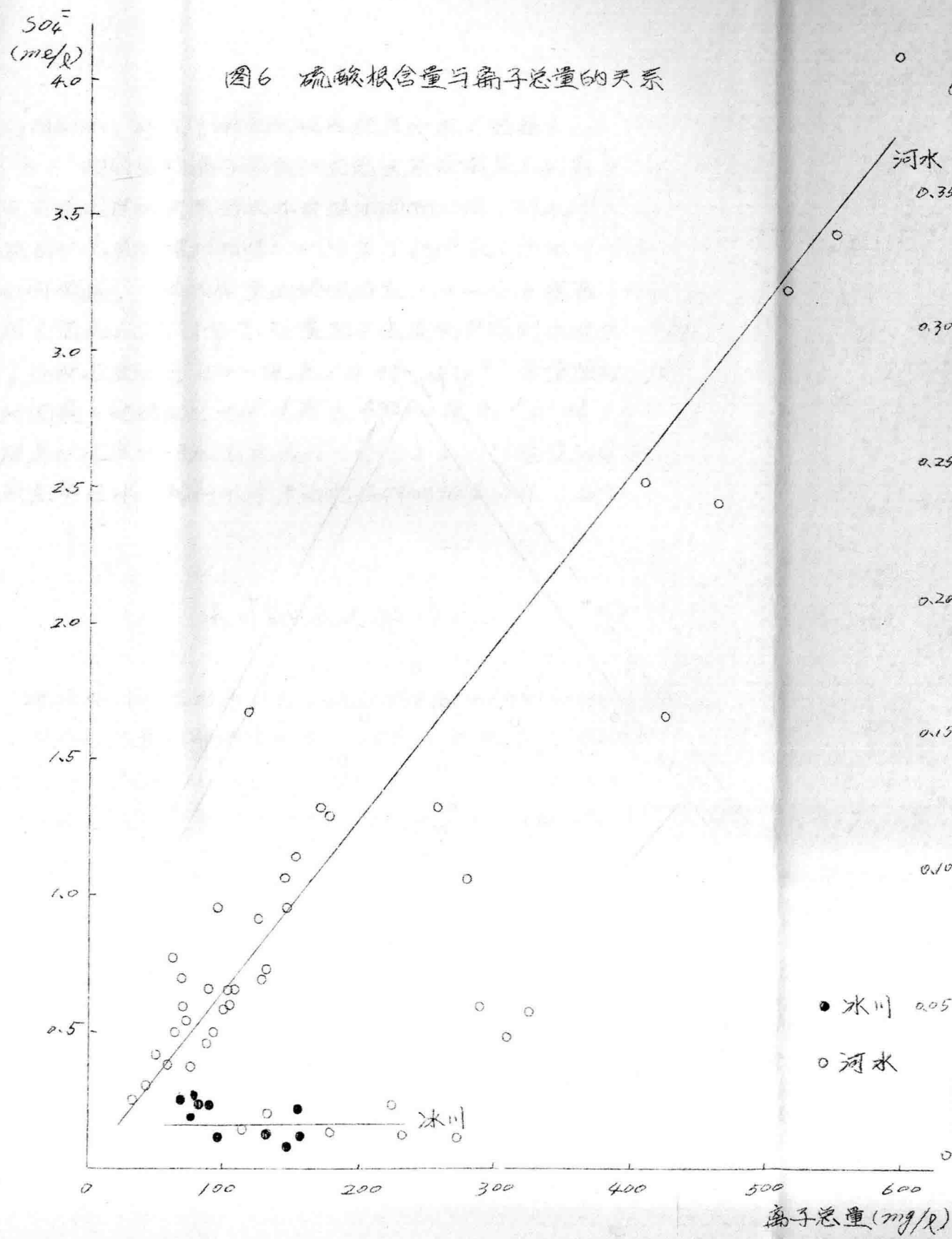


图5 重碳酸根含量与离子总量的关系





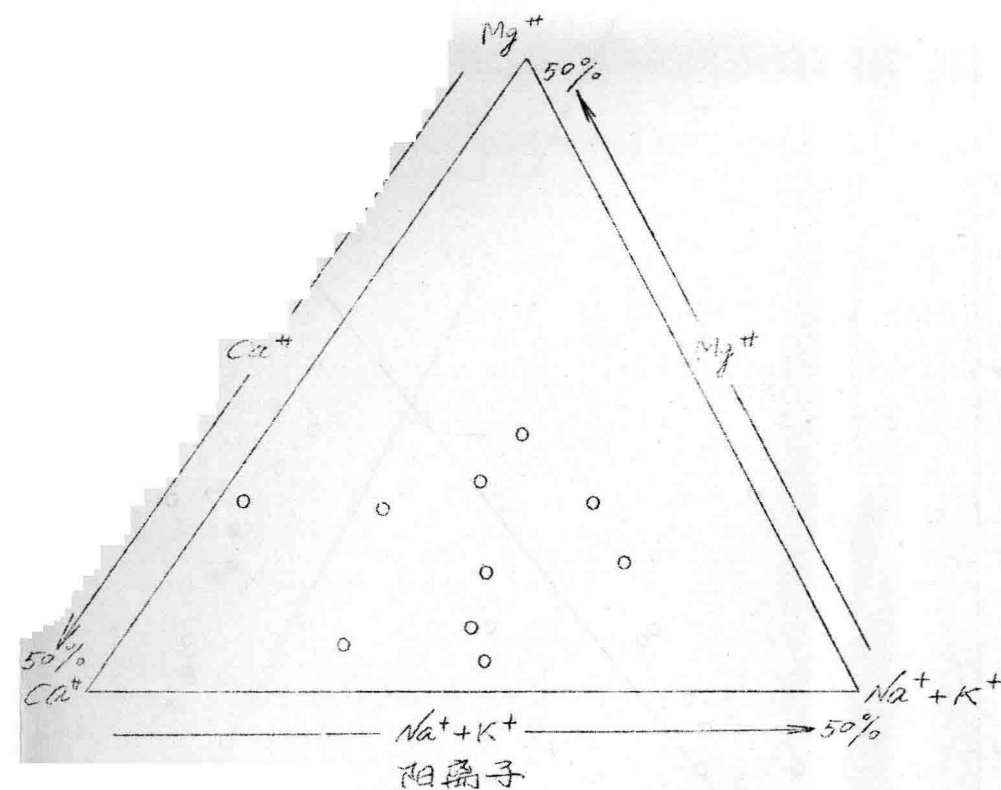
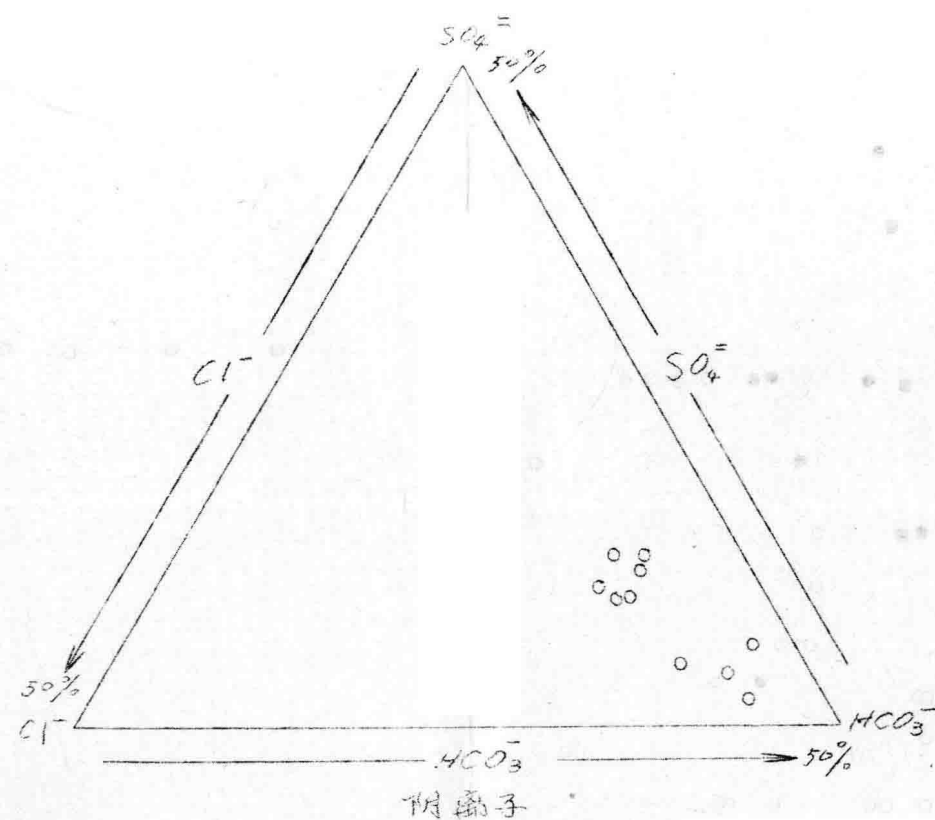


图8 冰川中阴、阳离子含量三角形图解

加而增加的，形成了明显的线性相关分布（见表5.2）。 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 的含量和离子总量的正比关系较前差（见表4）。 SO_4^{2-} 含量与矿化度的关系因水体类型不同而不同，河水中 SO_4^{2-} 含量随着矿化度的增加而增加的趋势不甚明显，而冰川不随矿化度如何增减， SO_4^{2-} 含量始终保持在3.4—12.6毫克/升的范围内（见表6）。 Mg^{++} 含量和矿化度的关系则出现另一种情况，当矿化度小于400毫克/升时， Mg^{++} 含量随矿化度的增加而慢慢地增加，当矿化度大于400毫克/升时 Mg^{++} 含量随着矿化度的增加迅速增加（表3）。 Cl^- 含量和矿化度的关系在本区冰川和河水中未出现任何的相关分布（表7）。

三. 冰川的水化学特征

珠峰冰川地区为冰、雪、冰面河水和冰面湖水的矿化度较低，其离子总量一般为68.3—155.3毫克/升，平均为107.7毫克/升，属弱矿化水，平均总硬度为0.77毫克当量/升，属极软水。在海拔5600公尺以上的冰川固态水中矿化度更低，约70毫克/升左右，和西藏高原高山地区大气降水（雪）的平均矿化度46.8毫克/升较接近（见表2）。这说明本区固态水的化学成分主要是受大气降水所控制的。

从表3的离子总量数值中可以看出，冰川冰、冰面河水和冰面湖水的矿化度比冰川融水小，另外，冰川区水体的矿化度随着海拔的降低而增加。冰川区水体矿化度的这种特点是由于山体北侧正对南支西风激流要冲，强劲的气流南下时，掠过山前的高山草原土、湖滨盐土和盐滩等广阔地区，把地面带盐的微粒和盐分尘埃通过大气迁移到山体北侧的冰川区，在接近山

表2 珠峰相邻地区唐古拉山南坡降水(包括雪和冰雹)矿化度

地 点	海拔高度	取样日期	矿化度 mg/l
唐古拉山南 坡土门格拉	4900公尺	1963.7.15	34.05
		1963.7.24	74.31
		1963.7.26	34.19
		1963.9.5	49.63
		1963.9.10	29.76
		1963.9.28	58.85
			平均46.79

(引自《崑崙山至喜马拉雅山间水化学的分带性》)

麓地段气流中盐分尘埃密度较大,所以低海拔的水体承受盐分尘埃相对较多。此外,高山冰川地区特别发育的另一种强烈的元素迁移途径是重力作用下的物质机械迁移。冰川区常会发生大规模的山崩和雪崩,使大量岩石碎屑、泥沙和盐类物质与冰雪混杂崩塌而下,有的复盖在山麓低海拔的冰雪体上,有的随冰川的水流沿着山谷向下移动,使冰舌端冰体增加可溶物质。由于高山地区温差变幅大,受热时,冰雪体中的可溶物质进入融水,遇冷时,融水又冻成冰体。所以低海拔处冰川融水或其冻结冰体的矿化度常会相对较高。

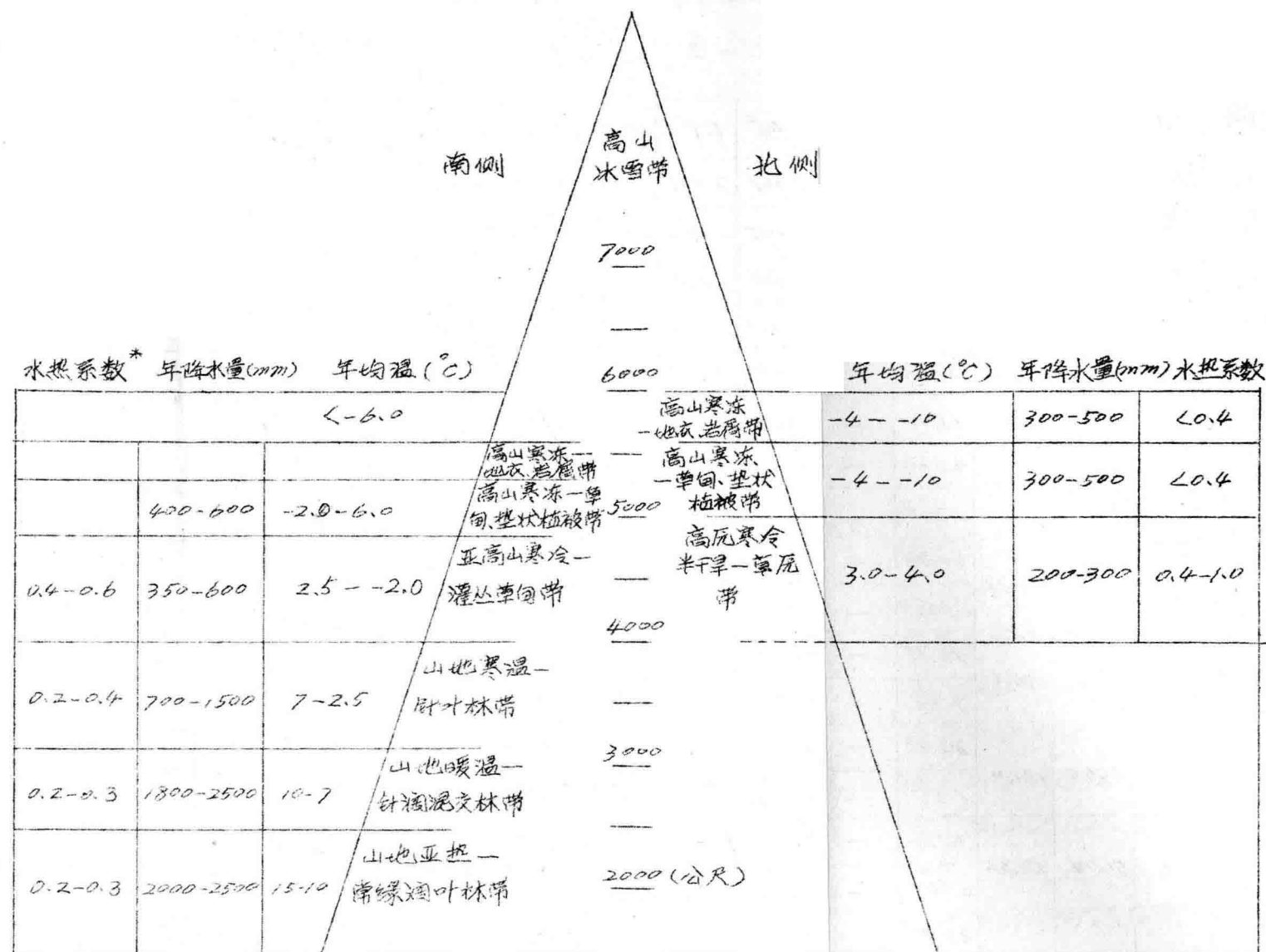
冰川的冰、雪、冰面河水和冰面湖水的总硬度是很低的,一般小于1.5毫克当量/升,平均为0.866毫克当量/升,为极软水,和大气降水的水化学特点很接近。

冰川的水化学组成中阴离子 HCO_3^- 含量大于 Cl^- 和 SO_4^{2-}

表3 珠峰冰川地区各种水体的化学组成

—13—

野外号	采样地点	采样时间	样品名称	海拔高度	离子总量 (mg/l)	阴阳离子含量 ($\frac{mg/l}{me/l}$)							阴阳离子毫克当量百分数(%)							水化学 类型
						HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	
W-23	中西绒布交界处 冰川	66 5.18	冰面 河水	5400	95.32	57.07 0.9352	—	5.649 0.1175	7.021 0.1980	4.709 0.2350	4.286 0.3525	16.58 0.6632	37.37	—	4.70	7.92	9.40	14.09	26.52	HCO ₃ ⁻ -Na ⁺
W-25	东绒布冰川	66 4.13	冰川 融水	5400	155.3	103.92 1.703	—	5.649 0.1175	7.021 0.1980	19.31 0.9635	6.572 0.5405	12.87 0.5149	42.18	—	2.19	4.90	23.87	13.39	12.75	HCO ₃ -Ca ⁺⁺
W-32	东绒布冰川末端	66 5.7	"	5500	147.0	97.82 1.603	—	3.39 0.0705	7.021 0.1980	14.13 0.7050	4.286 0.3525	20.36 0.8142	42.83	—	1.88	5.29	18.84	9.42	21.75	HCO ₃ ⁻ -Na ⁺ -Ca ⁺⁺
W-35	中绒布冰川表 碛径流场	66 5.26	"	5400	88.89	42.80 0.7014	—	11.30 0.2350	9.127 0.2574	4.709 0.2350	2.358 0.2350	18.10 0.7238	29.37	—	9.84	10.78	9.84	9.84	30.31	HCO ₃ -Na ⁺
W-24	中绒布冰川	66 4.17	冰面 湖水	5500	81.98	40.76 0.6680	—	11.30 0.2350	8.425 0.2376	5.180 0.2585	5.429 0.4465	10.87 0.4356	29.29	—	10.30	10.42	11.33	19.57	19.10	HCO ₃ ⁻ < $\frac{Mg^{++}}{Na^{+}}$
14(希)	希峰北坡1号 营地	64 4.23	冰川 冰	5400	155.1	78.85 1.62	—	10.72 0.223	4.184 0.118	23.85 1.19	1.800 0.148	15.63 0.621	41.33	—	5.69	3.01	30.36	3.78	15.84	HCO ₃ -Ca ⁺⁺
8(希)	希峰北坡野 博康加勒冰川	64 4.20	"	5540	131.0	82.38 1.35	—	6.539 0.136	6.241 0.176	14.89 0.743	1.800 0.148	19.23 0.769	40.64	—	4.09	5.30	2.24	4.46	23.15	HCO ₃ ⁻ -Na ⁺
17(希)	"	64 4.20	"	5600	78.32	40.58 0.665	—	12.60 0.262	5.567 0.157	13.89 0.693	3.855 0.317	1.825 0.0730	30.69	—	12.09	7.25	31.98	14.63	3.37	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
20(希)	"	64 4.19	"	5650	68.26	32.88 0.539	—	11.65 0.242	5.567 0.157	5.952 0.297	3.612 0.297	8.600 0.344	28.73	—	12.90	8.37	15.83	15.83	18.34	HCO ₃ ⁻ -Na ⁺ -Ca ⁺⁺ -Mg ⁺⁺
11(希)	"	64 5.4	"	5800	75.75	37.28 0.611	—	9.328 0.194	6.950 0.196	8.938 0.446	0.6019 0.0495	12.65 0.506	30.50	—	9.69	9.79	22.27	2.47	25.26	HCO ₃ ⁻ -Na ⁺ -Ca ⁺⁺



* 水热系数 = $\frac{0.16 \times \sum t}{Y}$, 式中 $\sum t$ 为日温 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 持续期间活动温度总和,
Y 为日期的降水量。

图9、珠峰地区自然分带示意图 (根据科考队自然地理组资料)

含量，其含量顺序为 $\text{HCO}_3^- \gg \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 。阳离子中通常 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 占优势，但也偶有 Ca^{2+} 含量较高的，其含量顺序为 $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 。（表8）。

四、河水的水化学特征

珠峰地区河水的水化学特性，以及它在时间和空间上的变化在很大程度上反映着一定地质背景上自然地理条件的差异。正如前述，珠峰地区山体的北部具有明显的大陆性干旱和半干旱气候特征，而南部直接受暖湿的印度洋季风影响。由于本区相对高差大，水热条件愈向山麓地段垂直差别愈明显。如将具有独特的水化学性质的高山冰雪带（一般在海拔4600~5200公尺以上）除外，根据水热系数和生物土壤特点可划分成二个迥然不同的自然带系列（表9）。

显然，对珠峰地区这样一个特殊地理单元中形成的河水水化学特征，不致虑这里完整的垂直自然带系列对它的影响和作用是无法认识的。另一方面，珠峰南北侧的岩性也属于两种不同的类型，南侧以变质岩为主，北侧以沉积岩为主。作为流域物质的风化壳和土壤正是在这两种不同类型的岩石上发育起来的，这也必然会影响到河水的水化学特征。在上述自然地理和地质条件的影响下，使同样依靠高山冰雪带低矿化度冰川融水补给的南北坡河流在水化学特征上产生了明显的差异。

珠峰北侧河水水化学特征

珠峰北侧广大地区的河水矿化度比南侧河水要高，其离子总量变化在104.1~517.0毫克/升之间，平均为259.1毫克/升，总硬度平均值为219毫克当量/升，绝大多数河水属中矿化度水和软水。从表4可以看出，北侧河流在它们的

全部流程内，不同河段的矿化度和化学组成呈现了不均匀的分布，这种现象是由于各河段所处的自然带不同，流域的地面物质的不均匀性，以及由矿化度大小不同的泉水补给河流等因素造成的，甚至与采样的时间也有一定的关系。但是当我们从复杂的现象中排除一些次要的和局部的影响因素后，就可找到此侧河流矿化度和化学组成变化的规律性。如表4所表明，河流从上游到下游，即由高到低相继流经不同自然带时，河水中离子含量是不断增加的，并且化学组成也有相应的变化。现以希夏邦马峰北侧的野博康加勒冰川——拉克多拉河——曼曲河——克鲁昂成湖水系为例来说明这种变化。表5和表10表明，发育在高山寒冻——地衣岩屑带和高山寒冻——草甸、垫状植被带内的冰川和河流的矿化度为60—70毫克/升，属 HCO_3^- — Na^+ + K^+ 型水。随着海拔降低，拉克多拉河水矿化度增加到190—210毫克/升，为 HCO_3^- — Ca^{++} 型水。当河流流入高山寒冻——草甸、垫状植被带和高原寒冷半干旱——草甸带后，曼曲河水矿化度达400—500毫克/升以上，极大多数属 HCO_3^- — Na^+ + K^+ 型水。最后到了由拉克多拉河补给的克鲁昂成湖，矿化度达2克/升属含有碳酸盐的 HCO_3^- — Na^+ 型水。根据水体离子含量的分析结果（见表5、表11）基本可得出如下各式：

自然带	高山寒冻——地衣、岩屑带和 高山寒冻——草甸、垫状植被带	→	高原寒冷半干旱——草甸带
水体	冰川和河流上游	→	河流下游
离子含量顺序	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--}$ $\text{Na}^+ + \text{K}^+ \leq \text{Ca}^{++} < \text{Mg}^{++}$	→	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^-$ $\text{Ca}^{++} \leq \text{Na}^+ + \text{K}^+ < \text{Mg}^{++}$
水热系数	< 0.4	→	$0.4 - 1.0$