

集表圖工業鹽制

編 日本專賣公社中央研究所

輕工業出版社

制鹽工業圖表集

日本專賣公社中央研究所編

章 文 譯

唐 漢 三 校

輕工業出版社

1958年・北京

目 录

說明	5
----	---

表

一、組成	16
------	----

表 1 海水的組成	16
-----------	----

表 1-1 海水的主要成分 (Fleming)	16
-------------------------	----

表 1-2 海水的主要成分 (各种測定值的比較)	16
--------------------------	----

表 1-3 海水中的元素	17
--------------	----

表 1-4 海水中的微量成分	17
----------------	----

表 1-5 鹽田海水的成分 (各地比較)	18
----------------------	----

表 1-6 鹽田潮頭海水的成分 (按時間分類)	19
-------------------------	----

表 1-7 鹽田海濱海水的成分 (各月滿潮時的資料)	19
----------------------------	----

表 1-8 人工海水的成分	20
---------------	----

表 1-9 各種濃度海水組成的計算值	20
--------------------	----

表 2 河水、湖水的組成	21
--------------	----

表 3 瀉水、苦瀉的組成	21
--------------	----

表 3-1 瀉水、苦瀉的組成 (海水濃縮)	21
-----------------------	----

表 3-2 鹽田瀉水、苦瀉的組成 (秋本)	22
-----------------------	----

表 3-3 鹽田瀉水、苦瀉的平均組成 (岡)	22
------------------------	----

表 3-4 鹽田瀉水的組成 (各地)	23
--------------------	----

表 3-5 曬晒鹽田瀉水的組成	24
-----------------	----

表 3-6 煎熬苦瀉的組成	24
---------------	----

表 3-7 曬晒鹽田苦瀉的組成	25
-----------------	----

表 3-8 濃厚苦瀉的組成	26
---------------	----

表 3-9 越多苦瀉的組成	26
---------------	----

表 4 食鹽的組成	27
-----------	----

表 4-1 食泉鹽、醫藥用鹽的組成	27
-------------------	----

表 4-2 日本鹽的組成	27
--------------	----

表 4-3 外國曬晒鹽的組成	29
----------------	----

表 5 海水在濃縮期中的組成變化	29
------------------	----

表 5-1 M. T. Usiglio 的實驗	30
-------------------------	----

表 5-2 石橋、村上的實驗	30
----------------	----

表 5-3 西川、龍田的實驗	31
----------------	----

表 5-4 小野寺、天明的實驗	32
-----------------	----

表 5-5 瀉水于 25°C 及 100°C 恒溫蒸發時的过程 (龍田)	33
--------------------------------------	----

表 6 海水、瀉水的 pH	34
---------------	----

表 6-1 海水的 pH	34
--------------	----

表 6-2 海水、瀉水的 pH	34
-----------------	----

表 6-3 苦瀉的 pH	34
--------------	----

表 6-4 蒸發罐內溶液的 pH	35
------------------	----

表 6-5 苦瀉濃縮液的 pH (中野)	35
----------------------	----

二、溶解度	36
-------	----

表 7 硫酸鈣在瀉水中的溶解度	36
-----------------	----

表 7-1 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的溶解度	36
--	----

表 7-2 CaSO_4 的溶解度	36
----------------------------	----

表 7-3 $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 的溶解度	37
--	----

表 7-4 CaSO_4 在海水及濃縮海水中的溶存量	37
-------------------------------------	----

表 8 CaSO_4 的轉變溫度	38
---------------------------	----

表 9 CaSO_4 在鹽類溶液中的溶解度	38
--------------------------------	----

表 10 鹽類的溶解度	39
-------------	----

表 11 $\text{K}-\text{Na}-\text{Cl}$ 系統的溶解平衡	39
---	----

表 12 海鹽的溶解平衡 ($\text{K}_2-\text{Mg}-\text{Na}_2-\text{Cl}_2-\text{SO}_4$ 系統, NaCl 飽和)	40
---	----

表 12-1 在 0°C 時的等溫變化	40
---------------------	----

表 12-2 在 25°C 時的等溫變化	40
----------------------	----

表 12-3 在 55°C 時的等溫變化	41
----------------------	----

表 12-4 在 83°C 時的等溫變化	42
----------------------	----

表 12-5 析出鹽類的略號	42
----------------	----

三、密度	43
------	----

表 13 水的密度	43
-----------	----

表 13-1 0°C~40°C 的水的密度	43
-----------------------	----

表 13-2 40°C~100°C 的水的密度	43
-------------------------	----

表 14 波美比重	44
-----------	----

表 14-1 d_{4}^{15} 與 Bé 之間的关系	44
--------------------------------	----

表 14-2 將波美比重按 15°C 換算時的更正值	46
----------------------------	----

表 15 海水的密度	47
------------	----

表 16 瀉水、苦瀉的密度	47
---------------	----

表 16-1 海水濃縮 (東、中村、原)	47
----------------------	----

表 16-2 海水濃縮 (鈴木、坂場)	48
---------------------	----

表 16-3 鹽田瀉水 (藤實、浦山)	48
---------------------	----

表 16-4 苦瀉的密度與溫度	48
-----------------	----

表 17 海水濃縮率	49
------------	----

表 17-1 東、中村、原的濃縮率	49
-------------------	----

表 17-2 鈴木、坂場的濃縮率	49
------------------	----

表 17-3 西村、龍田的濃縮率	49
------------------	----

表 17-4 M. T. Usiglio 的濃縮率	49
---------------------------	----

表 17-5 石橋、村上的濃縮率	50
------------------	----

表 17-6 小野寺、天明的濃縮率	50
-------------------	----

表 17-7 市川、龍田的濃縮率	51
------------------	----

表 17-8 岡、菱刈的濃縮率	52
-----------------	----

表 17-9 中國旅大鹽業試驗場的濃縮率	52
----------------------	----

表 17-10 日本防府制鹽試驗場的容量濃縮率	52
-------------------------	----

表 18 鹽類溶液的密度	54
--------------	----

表 18-1 NaCl 溶液的密度	54
----------------------------	----

表 18-2 MgCl_2 溶液的密度	54
------------------------------	----

表 18-3 CaCl_2 溶液的密度	55
------------------------------	----

表 18-4 各種鹽類溶液的密度比較	55
--------------------	----

表 19 食鹽水的比重	56
-------------	----

表 19-1 Gerlach 氏的原表	56
---------------------	----

表 19-2 一般所謂 Gerlach 氏表	56
------------------------	----

表 20 滴水濃度表	57	表 38 水的折射率	72
表 21 固体鹽类的密度	59	表 39 海水的折射率	73
表21-1 NaCl 結晶的密度	59	表39-1 海水的折射率 (三宅)	73
表21-2 NaCl 結晶的密度 (参考)	59	表39-2 海水的折射率 (Bein)	73
表21-3 鹽类結晶的密度	59	表 40 滴水的折射率	74
表21-4 食鹽的假比重 (制法的影响)	59	表 41 鹽类溶液的折射率	74
表21-5 食鹽的假比重 (水分的影响, 精制鹽)	59	表41-1 NaCl 溶液的折射率	74
四、粘度	60	表41-2 KCl 溶液的折射率	74
表 22 水的粘度	60	表41-3 $MgCl_2$ 溶液的折射率	75
表 23 海水的粘度	60	表41-4 $MgSO_4$ 溶液的折射率	75
表 24 滴水、苦滴的粘度	60	表41-5 $CaCl_2$ 溶液的折射率	75
表24-1 滴水、苦滴的粘度 (藤貫、浦山)	60	表41-6 Na_2SO_4 溶液的折射率	75
表24-2 滴水的粘度 (今津、中山)	61	表41-7 K_2SO_4 溶液的折射率	75
表24-3 滴水的相对粘度 (今津、中山)	61	十、导电率	76
表24-4 低濃度滴水的粘度 (原田)	62	表 42 海水的导电率	76
表24-5 滴水、苦滴的粘度 (堀、西本、畦地)	62	表42-1 海水的导电率 (Ruppin)	76
表 25 鹽类溶液的相对粘度 (I. C. T.)	62	表42-2 海水的导电率 (Bein)	76
五、表面張力	62	表 43 海水、滴水、苦滴的导电率	77
表 26 水的表面張力	62	表43-1 海水、滴水、苦滴的导电率 (小田原制鹽試驗場)	77
表 27 海水的表面張力	63	表43-2 滴水、苦滴的导电率 (藤貫、浦山)	78
表 28 滴水、苦滴的表面張力	63	表43-3 海水、滴水、苦滴的电阻率 (日本專賣局制鹽技术課)	78
表 29 鹽类溶液的表面張力	63	表 44 电解液的导电率	79
六、冰点	64	表 45 离子的导电率	80
表 30 海水的冰点	64	十一、傳热率	80
表30-1 海水的冰点 (三宅)	64	表 46 水的傳热率	80
表30-2 海水的冰点 (Knudsen)	64	表46-1 水的傳热率 (I. C. T. 与 Bates and Hazzard)	80
表 31 滴水的冰点	64	表46-2 水的傳热率 (Schmidt and Sellschopp)	80
表 32 鹽类溶液的冰点	65	表46-3 水的傳热率 (Timrot and Vargaftik)	81
七、沸点与蒸汽压	66	表 47 海水的傳热率	81
表 33 海水的沸点上昇及蒸汽压下降	66	表 48 鹽类溶液的傳热率	81
表33-1 海水的沸点上昇及蒸汽压下降 ($100^{\circ}C$)	66	十二、比热	82
表33-2 海水的蒸汽压 (常温)	66	表 49 水的比热	82
表 34 滴水、苦滴的沸点上昇	66	表 50 海水的比热	82
表34-1 滴水的沸点上昇 (原)	66	表 51 滴水的比热	82
表34-2 滴水、苦滴的沸点上昇 (内田)	67	表 52 电解質溶液的比热	83
表34-3 在大气压下滴水、苦滴的沸点上昇 (小野寺)	68	表52-1 NaCl 溶液的比热	83
表34-4 在大气压下滴水、苦滴的沸点上昇 (原田)	68	表52-2 $MgCl_2$ 溶液的比热	84
表34-5 滴水的沸点上昇 (鈴木)	69	表52-3 电解質溶液的比热	85
表 35 滴水、苦滴的蒸汽压	70	十三、扩散系数	85
表35-1 滴水的蒸汽压 (原)	70	表 53 电解質溶液的扩散系数	85
表35-2 滴水、苦滴的蒸汽压 (芝)	71	十四、溶解速度	86
表 36 鹽类溶液的沸点上昇	71	表 54 鹽类結晶体的溶解速度常数	86
八、滲透压	72	十五、其他	86
表 37 海水的滲透压	72	表 55 NaCl 的結晶形	86
九、折射率	72		

表 56 NaCl 的其他性質	87	圖 17 水、海水、滴水的粘度 (与温度的关系)	118
表 57 鍋垢成分在結晶學上的性質	87	圖 18 滴水、苦滴的相对粘度	119
表 58 蒸汽表	87	圖 19 鹽类溶液的相对粘度	119
表 58-1 飽和蒸汽表 (按照溫度)	87	五、表面張力	120
表 58-2 飽和蒸汽表 (按照壓力)	91	圖 20 滴水、苦滴的表面張力 (与濃度的关系)	120
圖		圖 21 水、海水、滴水、苦滴的表面張力 (与溫度的关系)	121
一、組成	95	圖 22 鹽类溶液的表面張力	121
圖 1 海水的組成	95	六、冰点	122
圖 2 滴水、苦滴的組成 (海水濃縮)		圖 23 海水、滴水、食鹽溶液的冰点	122
圖 2-A 对于液体的重量%	96	圖 24 鹽类溶液的冰点	122
圖 2-B 在固形物中的重量%	97	七、沸点与蒸汽压	123
圖 3 食鹽、滴水、苦滴的組成		圖 25 滴水、苦滴的沸点上昇	123
圖 3-A $H_2O-NaCl$ —不純物, 直角三角圖	98	圖 25-A 滴水、苦滴的沸点上昇 (在大气压下与濃度的关系)	123
圖 3-B $K-SO_4-Mg$	98	圖 25-B 濃縮海水、混合滴水、苦滴的沸点上昇 (原因)	124
圖 4 海水在濃縮期中所析出的鹽类		圖 26 滴水、苦滴的沸点上昇 (与壓力的关系)	125
圖 4-A Usiglio	99	圖 27 海水、滴水、苦滴的蒸汽压 ($25^{\circ}C$)	126
圖 4-B 石桥、村上	99	圖 28 鹽类溶液的沸点上昇	127
圖 4-C 西川、前田	100	九、折射率	128
圖 4-D 小野寺、天明	100	圖 29 水、海水的折射率 (与溫度的关系)	128
圖 5 滴水、苦滴的 pH	101	圖 30 海水、滴水、鹽类溶液的折射率 (与濃度的关系)	129
二、溶解度	102	十、导电率	130
圖 6 $CaSO_4$ 在滴水中的溶解度		圖 31 海水、滴水、苦滴的导电率 (与濃度的关系)	130
圖 6-A 与溫度的关系 (無水鹽; 二水鹽、半水鹽)	102	圖 32 海水、滴水、苦滴的导电率 (与溫度的关系)	131
圖 6-B 与滴水濃度的关系 (無水鹽、二水鹽)	103	十一、傳热率	132
圖 6-C 与滴水濃度的关系 (半水鹽)	104	圖 33 水的傳热率	132
圖 6-D $CaSO_4$ 、 $Mg(OH)_2$ 、 $CaCO_3$ 在滴水中的溶解度 ($60^{\circ}C$)	105	圖 34 海水、鹽类溶液的傳热率	132
圖 6-E $CaSO_4$ 、 $Mg(OH)_2$ 、 $CaCO_3$ 在滴水中的溶解度 ($100^{\circ}C$)	105	十二、比热	133
圖 7 $CaSO_4$ 的轉變溫度	106	圖 35 海水滴水、鹽类溶液的比热 (与濃度的关系)	133
圖 8 $CaSO_4$ 在鹽类溶液中的溶解度	107	圖 36 水、海水、滴水、苦滴、鹽类溶液的比热 (与溫度的关系)	134
圖 9 鹽类的溶解度	108	圖 37 電解質溶液的比热	135
圖 10 $K-Na-Cl$ 系統的溶解平衡圖	109	十三、扩散系数	136
圖 11 海鹽的溶解平衡圖		圖 38 電解質溶液的扩散系数 (与濃度的关系)	136
圖 11-A 等溫	110	圖 39 電解質溶液的扩散系数 (与溫度的关系)	136
圖 11-B 溫度变化	111		
三、密度	112		
圖 12 滴水的密度 (与濃度的关系)	112		
圖 13 滴水、苦滴、鹽类溶液的密度与溫度的关系	113		
圖 13-A 滴水、 $NaCl$ 、 $MgCl_2$ 溶液的密度			
圖 13-B 苦滴的密度	114		
圖 14 濃縮率与密度之間的关系	115		
圖 15 鹽类溶液的密度 (与濃度的关系)	116		
四、粘度	117		
圖 16 海水、滴水的相对粘度 (与濃度的关系)	117		

說 明

一、組成

海水的主要成分 (表 1-1, 1-2, 1-3, 1-4)

海水的組成因降雨、蒸發、河水的注入或海冰的融化等等影响而起变化, 同时亦因地理位置及深度而有所不同。但是, 應該說明, 其間的差異, 仅指鹽分含量的濃淡程度而言, 如就所含各種鹽類的比率觀察, 則不难看出, 世界上任何海洋的海水, 比率均大致相同, 蓋因海流或潮流具有促使海水充分混合的作用。海水的主要成分的含量比率, 虽如上述, 大体上是一致的, 但所謂海水中的營養鹽類, 如磷酸鹽、碳酸鹽、硅酸鹽与硝酸鹽(有时呈氨态或亞硝酸态)等鹽類, 則因各海洋中棲生生物的种类不同或其数量的多寡, 而發生若干的变化。显然, 除以上各种主要成分之外, 在海水中尚有为数众多的其它元素存在, 如將構成純水的氫計算在內, 則其种类达 53 种, 若將氮、氦、氬等溶解于海水中的气体亦行列入, 則其种类將达 57 种之多。此等微量存在的元素, 自古以来, 早在学术上引起海洋学者的重視, 並且曾經进行过多种多样的詳細研究。过去德国的 Haber 氏 (F. Haber Z. angew Chem. 40, 303, 1927), 曾以海水中所含微量黄金为目标, 探求工業上的提煉方法, 終因含量極微, 致在經濟上遭受失敗。不过, 海水中的金屬元素, 虽含量甚微, 但在某种情况下, 却可成为有利条件, 例如从海水中提取金屬鎂时, 可获得純度較高的产品, 因混入的鋁、鉄、硅酸等夾雜物質較利用礦物資源制煉的金屬鎂为少。

对于溶解于海水中的各种物質的数量, 通常均以鹽分 (Salinity) 的数值表示。根据 Forch, Knudsen, Sørensen 等氏 1902 年的解釋, 鹽分的定义是: 在 1 公斤海水中所含各种鹽類的全部重量, 其單位以克表示。此处所說的重量, 系指將全部碳酸鹽类予先轉变为氧化物; 將溴、碘置換为氧; 以及將各种有机物全部氧化以后的重量。从此可以設想, 如按以上定义, 对海水的鹽分进行測定时, 不仅操作繁瑣, 且于加热时, 一部分的氯难免以 HCl 的形态逸失, 致使含氯量發生誤差。此外, 如上所述, 各大海洋的海水所溶解的鹽类成分大概相同, 因此可以設想, 如已知某种物質的濃度, 就能求出鹽分, 而且此种方法相当正确。目前以氯为标准。其濃度以含氯量 (Chlorinity) 来表示。按 Sørensen 氏的解釋, 含氯量就是以 1 公斤海水中的 Cl 、 Br 、 I 三种元素的全部重量, 其單位以克表示。至于海水中的氟化物, 因其銀鹽为可溶性, 故不包括在內。但經慎重研究, 不难看出: 如用上述定义, 則含氯量的数值, 將因原子量的每一变动而發生变化。因此, 为避免此种情况, 目前是以标准海水的含氯量作为正确的标准以决定含氯量 (1937 年哥本哈根国际海洋研究会所制成的标准海水的含氯量为 19.381%)。此外, 尚可利用标准海水与純銀之間的量的关系, 即以使 0.3285233 公斤海水中的鹵族元素全部沉淀所消耗的純銀克数表示含氯量。

此外, 尚有与含氯量相類似的称为 Chlorosity 的数值, 即將鹵族元素的数量作为全氯量, 以克/升为單位表示之。因此, 若用含氯量 (Chlorinity) 乘以某种温度下的密度 (一般多用 20°C), 就可求出該温度下的 Chlorosity。

Knudsen 氏曾就鹽分 (S%) 与含氯量 (Cl%) 之間的关系, 求出一實驗式, 即平均为

$$S = 0.030 + 1.8050 \text{ Cl}.$$

除此之外，过去曾有

Forchhammer 公式:

$$S = 1.811 \text{ Cl}$$

Dickson 公式:

$$S = (1.83 - 0.0011 \text{ Cl}) \text{ Cl}$$

等等实验式，目前以 Knudsen 式最为普遍。

海水中的总盐分（固形物，P），虽然相当于海洋学所称的含盐量，但却稍有不同，因为前者系指 NaCl 、 MgCl_2 、 CaSO_4 、 MgSO_4 、 KCl 等五种盐类，或者另外还包括 MgBr_2 在内的 6 种盐类之和。在上述各种离子之中，对 Na 离子，不採用直接分析，而是利用除 Na 之外的其他阴离子之差，間接由計算方法求出的。

鹽田海水 （表 1-5, 1-6, 1-7, 圖 1）

本表所列各种試样的採取地点，是在日本山口县三田尻鹽場防波堤的外側 80~100 公尺的地点 (No. 1~No. 22)，和在防波堤的内側沿海溝向陆地 500 公尺的地点 (No. 23~No. 34)。从圖 1 可以明显地看出，其溶存鹽类的組成，与 Fleming 等氏所测定的外洋海水的情况不同，即 NaCl 、 CaSO_4 的含量較少，而 MgCl_2 、 MgSO_4 的含量較多，尤以海溝的海水，此种傾向更为显著，想与鹽田的廢液，煎熬工厂所廢棄的苦澇或河水的注入等等的影響有关。

本节所列举的分析数值，系指此特定地区的鹽田海水的組成情况而言，至于其他地区是否具有如此显著的差别，則是另一个問題，有待于將来的研究。

人工海水 （表 1-8）

鉴于海水中鹽类的組成大概一致，可將具有此等离子且是化学純的鹽类，加以混合，制成人工海水，以供各种实验之用。如表 1-8 所列，以 Lyman、Fleming 兩氏与 Brujewicz 氏的制法較為簡單。此种人工海水，由于使用的目的不同，有时固可充分地代替海水，有时則不够完善，这是目前尚未解决而且富有趣味的一項研究課題。例如以人工海水 养殖 生物而論（关于硅藻的研究，松平：J. Agricultural Research, I. 177, 1950；日本海洋学会誌 6, 209, 1951），生物的發育就不充分，只有將人工海水与天然海水适当地混合以后，方能充分地达到养殖的目的。原因是在人工海水中不含有機物質，而且所用的藥品，虽經精制，却难免混入極其微量的不純物質如微量的金屬鹽类，此外，对于微量元素的數量，也难于进行合理的調整。基于此种情况，有时就無法將人工海水作为海水的代用品而加以利用。

关于人工海水的制法，日本專賣公社中央研究所按照 Dittmar 氏所規定的海水成分，首先在 NaCl 溶液中加入 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，靜置一夜，待其充分溶解之后，再于次日溶解其他鹽类，即制成人工海水以供使用。

被稀釋海水的組成的計算值 （表 1-9）

如前所述，沿岸海水由于陆地上的淡水的注入而被稀釋，故其濃度比外洋的海水为低。为便于計算起見，对于作为制鹽原料的沿岸海水的組成，暫以 Fleming 氏的数据为基础，对稀釋后的海水的組成加以計算，制成表 1-9。但应注意，凡被制鹽工厂的廢液所污染的海水，其組成与此恐难一致。在換算表（表 14-1）上，用直線內插法，即可由 B_e 求出 d_4^{15} ，如果另用水在溫度 15°C 和 40°C 时的兩种密度之比 0.99913 相乘，則可算出 d_4^{15} 。此外，根据 Knudsen 氏海洋調查常用表（日本海洋学会譯：1943）44 頁，可由 d_4^{15} 求出 d_4^0 （以 d_4^{15} 的第五位数字为 0），並由同表 5—14 頁

求出含氯量 Cl。其次，將 Fleming 氏所測定的海水組成(表 1—1)中的 Br^- 換算為 Cl^- ，加于 Cl^- 之內，作為含氯量(Chlorinity)，則得 19.009。但上列數據系將 Sr^{++} 包括于 Ca^{++} 之內，將 HCO_3^- 略去不計，並按含氯量之比，將離子數量進行了分配。

河水、湖水的組成 (表 2)

用作制鹽原料的海水，已為前述，往往由於各種陸地上的淡水的影響，在組成上與外洋海水不同。因此，特將足以代表陸地淡水的河水和湖水的標準組成列出，以供參考。從表 2 中不難看出，各陽離子或陰離子含有量的排列順序，與海水的狀況完全相反，即海水中的陽離子含有量的排列順序，為 $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$ ，而河水與湖水則為 $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}$ ，有顯著的不同。此種現象早已引起注意，並在地球化學的領域內，進行着專門的研究。

滴水、苦滴的組成 (表 3-1, 3-2, 圖 2-A, 2-B)

在闡明滴水 and 苦滴的組成及其變化的各種資料中，以表 3-1 所列举的岡俊平氏的數值最為精確，偏差極小。此項試驗系在接近 25°C 時濃縮海水，並在恆溫 25°C 下充分靜置，使達平衡狀態，而後對各種過程的溶液的組成及其比重進行測定。岡俊平氏對於具有易呈過飽和性質的 CaSO_4 、 MgSO_4 等硫酸鹽類，在測定期中曾給予適當的注意。此外，秋本氏曾對各種濃度的鹽田滴水進行過分析——包括微量元素在內，其結果如表 3-2 所示。因鹽田的濃縮條件不易固定，在測定數值上產生了若干偏差，以致與前述濃縮海水之間未能出現數值上的差別。除此之外，作為試驗對象的滴水的組成，似乎亦有變動，又從石膏、鎂鹽、鉀鹽的溶解度因溫度而變化的事實加以推測，得知具體的條件如果不同，其組成亦必隨之而異。此種關係，在濃度較高的範圍內更為顯著，所以建議按前述岡氏的測定方法，在各種溫度下進行測定。

關於滴水和苦滴的定義，根據日本鹽業專賣法第一條第三項的規定，即“本法規所稱的滴水，系指海水或井鹹水經過加工以後的液體。在所含的固形物中， NaCl 的含量須達 50% 以上，而其比重 (15°C) 須達波美 5 度以上”，另按同條第二項“本法規所稱的苦滴，系指在制鹽期中，從滴水中析出原鹽以後的母液或殘液”。

食鹽的組成 (表 4-1, 4-2, 4-3, 圖 3-A, 3-B)

食鹽系指日本所產白鹽和灘晒鹽等，以海水為原料(岩鹽的成因亦可視為起源於海水)，並以 NaCl 為主要成分的鹽類，其中的不純物質除一部分附着於食鹽的母液之外，並且夾雜 CaSO_4 、 Na_2SO_4 、 MgSO_4 或者由此等鹽類所組成的復鹽。關於食鹽組成的表示方法，根據報告(原田武夫、江崎茂、蒲池崇：日本專賣公社中央研究所研究快報第 99 期，1953)所述，日本專賣公社過去均以小數點以下的四位數值表示。若從分析的精度或正確度上著想，該社所規定的位數未免過多，無實用意義，因最低限度，必須以兩次的分析值之差來衡量精度，所以如按統計學上的 $\sigma/3$ 的法則推論，反而更為切合實際(田口玄一：品質管理，2, No 9, 30~40, 1951; 北川敏男，增山元三郎：新編統計數計表 P. 32, 1952)。如設

$$\sigma/3 = \Sigma \{(\text{測定值}) - (\text{平均值或真值})\}^2 / 3 \{(\text{個數}) - 1\} = 0.024,$$

則 $\sigma/3$ 的有效位數可取小數點以下 2 位，對於第三位數字則可四捨五入。

又按專賣法第一條第一項的規定“本法規所稱的‘鹽’，系指 NaCl 含量達於 40% 以上的固形物，

但智利硝石、鉀鹽鎂矾、鉀石鹽及其他由大藏省命令所規定的礦物除外”，另按大藏省所頒發的鹽專賣法施行規則第三條的解釋“專賣法第一條第一項所規定的礦物，系指智利硝石，鉀鹽鎂矾、鉀石鹽、雜鹵石、硫酸鎂石、光鹵石、柱晶硼酸鎂石、鈣芒硝、白鈉鎂矾、軟鉀鎂矾、方礬石、硬石膏及類似此等的含鹽礦物”。當然，上述鹽類目前不妨從略，今後對此問題則需加以研究。

海水在濃縮期中的組成變化 (表 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5, 圖 4-A, 4-B, 4-C, 4-D)

關於海水在濃縮期中的組成變化及其鹽類析出的問題，很早以前，即由 Usiglio 氏在法國進行過研究。此後，日本及蘇聯亦曾進行過多次的測定。

最初析出的是 CaCO_3 ，這是由於重碳酸鹽類的分解。與此同時， Fe_2O_3 亦開始混入析出物之中，但鑑於 Fe 在海水中的含量極微，而且容器、塵埃及其它因素，亦為 Fe 的來源，Fe 是否以真溶液狀態存在，抑或作為膠態物質而存在，截至目前為止，猶未判明。其次析出的是 CaSO_4 ，這是構成鍋垢的主要成分。在西川氏的實驗中，其分析值內所列的 Na_2SO_4 ，想是由復鹽鈣芒硝 ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$) 等的析出而形成的。在一般的情況下，因在分析的試樣上附着一部分母液，使 MgCl_2 得以混入，而形成在分析結果中檢不出 Na_2SO_4 的結果。在此種情況下，如附着的母液另有分析結果，則尚有加以考察的途徑。再次是 NaCl 的析出。當部分的 NaCl 尚殘存於母液期中，即可析出 $\text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$ 的復鹽，最後僅余以 MgCl_2 為主要成分的母液。至於溴素化合物，目前雖然有人認為它可與氯化物構成共晶，但尚未掌握充分的数据來証實。另外，低濃度範圍內的海水，於高溫蒸發期中，亦產生以 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 為主要成分的鍋垢，這是目前的一個問題，於此附帶註明。關於海水在濃縮中析出鹽類的研究，需要較長的時間，大量的人力，細心的觀察，而且在試驗技術上，亦有種種的困難。本節所列举的四項實驗（表 5-1, 5-2, 5-3, 5-4），只局限於析出鹽類的分析，未進行母液的分析，所以，在測定結果的研究檢驗上，勢必感到若干不便。而且，在析出鹽類的過濾分離中，又不可避免有部分母液附着於析出鹽類之上，致使分析結果難以正確。尤其是上述各項實驗，對於析出鹽類與溶液之間完全達到平衡狀態所需的時間，考慮得似乎不夠週密，對於過濾，密度測定與容量測定的溫度，亦未註明，因此，對於各種測定數值的研究或應用，均有困難。另外，如就 Clarke 氏關於 Be 與 d (21°C) 之間的关系進行研究，其关系式如為 $B=K(1-1/d)$ ，則 $K=149.07 \pm 0.19$ ，但其結果卻與任何的 $^{\circ}\text{Be}'$ 全不相同。

前田氏的實驗（表 5-5）方法，却與前述四項不同。前田氏為確定各種鹽類的析出濃度，採用了以下的方法，即首先將各種鹽類混合溶解，製成人工海水，而後在 15°C 和 100°C 的兩種溫度之下，對各種單體鹽類的溶解度，分別進行測定。不难看出，此種方法，將是研究各種鹽類在海水濃縮期中的析出順序的基礎，而且也是一種正確的實驗方法。希望今後能夠在溫度與濃度的更廣泛的範圍內，確定出此種基本數據。

海水的 pH (表 6, 圖 5,)

海水的 pH 呈弱鹼性。關於海水的 Hp 與 CaCO_3 , H_2S 之間的关系，在海洋學的領域內，進行着精密的研究 (Sverdrup, Johnson and Fleming: The Oceans, P. 192, 1946)。關於滴水 pH 的研究，有秋本氏的測定（表 3）。苦滴稍帶酸性，如進一步加以濃縮，則更呈酸性。關於此項，已有中野氏的實驗，不過由於缺少比重測定，難以繪圖比較。

二、溶解度

CaSO₄ 在滴水中的溶解度及其转变温度 (表 7-1, 7-2, 7-3, 7-4, 表 8, 圖 6-A, 6-B, 6-C, 圖 7)

原氏等人曾就上述各項进行过慎密的測定, 为鍋垢問題提供了重要的資料。不过該項測定, 对于在溫度 100°C 左右开始析出並在實際操作上最易發生問題的 CaSO₄·½H₂O 的溶解度, 只將大多数的測定点集中於含氯量为 50% 以下的范围, 而对較高的濃度, 却仅于 100% 左右測定一点。显然, 于 50~100% 之間, 如採用內插法, 其結果必不準確; 对于含氯量 100% 以上的濃度, 若应用外推法, 則更为不当。所以, 对于高濃度范围内的測定值, 希能早为补充。此外, 因該項測定, 未涉及鈣芒硝 (CaSO₄·Na₂SO₄), 將有若干不便。

根据烏海氏等人研究結果 (烏海, 原: 日化, 55, 1051, 1934; 松野, 小金丸, 原: 工化, 44, 142, 1941), 將有关数值整理如圖 7。圖中以橫軸表示滴水濃度, 並採取含氯量与波美比重两种标度 (Cl % 与 Bé 之間的关系, 依据岡俊平氏的数据)。如圖所示, 在 AB 線以下区域内以二水鹽最为稳定, 無水鹽次之, 而半水鹽則最不稳定 ($2 > 0 > \frac{1}{2}$); 在 AB 線与 CD 線之間的区域, 以無水鹽最为稳定, 二水鹽次之, 半水鹽則最不稳定 ($0 > 2 > \frac{1}{2}$); 在 CD 線以上的区域, 則無水鹽最为稳定, 半水鹽次之, 而二水鹽最不稳定 ($0 > \frac{1}{2} > 2$)。但应說明, 实际的析出却与上述平衡圖所示的情况, 往往不尽相同。JK 線表示海水濃縮时的 CaSO₄ 的饱和線, 在 JK 線左下方的区域, 表示不饱和, 在右上方的区域表示过饱和及析出。在 CE 線以下帶有斜線的区域, 系表示只析出二水鹽; CD 線与 CE 線之間, 系表示析出二水鹽与半水鹽的混合物; FG 線与 CD 線之間的区域为半水鹽; HI 線与 FG 線之間, 則为無水鹽与半水鹽的混合物; HI 線以上的区域, 則为無水鹽。不过, 此等鹽类的析出, 常和时间有关系, 为达到平衡状态, 往往需要較長的时间, 因此, 可以知道, 靜置長時間愈長, 愈接近平衡状态。

圖 6-D 及 6-E 分別表示当温度为 60°C 与 100°C 时的 CaSO₄·½H₂O, CaSO₄, Mg(OH)₂, 和 CaCO₃ 的溶解度。設有一种滴水, 其組成如下表,

Ca	Mg	Alk	SO ₄	PH	C
mg/l	mg/l	mol/l	mg/l		
2,000	10,000	100	5,700	8.60	2.00

則表中:

Alk = 終点 pH 为 4.35 时的碱度 (Alkalinity)

C = 濃縮系数 = 补給液 c.c. / 排出液 c.c.

(a) 对于 CaSO₄, 取温度为 100°C 时的 A 点 (Ca = 2,000; SO₄ = 5,700), 以此点与代表 CaSO₄ 溶解度的曲線比較, 則 A 点在其上側, 因此可知, 滴水中的 CaSO₄ 已呈过饱和状态。又因 A 点在 CaSO₄·½H₂O 線下側, 可知滴水中的半水鹽呈未饱和状态。

(b) 对于 Mg(OH)₂ 則取 B 点 (Mg = 10,000; pH = 8.60), 因 B 点在 Mg(OH)₂ 線的上側, 可知已达过饱和状态。饱和指数 = $-0.8 = (\text{饱和 pH}) - (\text{試样的 pH}) = 7.8 - 8.6$ 。

(c) 对于 CaCO₃ 則取 C 点 (Ca = 2,000; pH = 8.60), 因 C 点在 Alk = 100 的 CaCO₃ 線的上側, 为过饱和状态。又因饱和因数 = $-1.6 = 7.0 - 8.6$, 可知其过饱和的程度, 較 Mg(OH)₂ 尤甚。

CaSO₄ 在鹽类溶液中的溶解度 (表 9, 圖 8)

D'Ans 氏曾就 CaSO₄ 在 NaCl、MgCl₂、MgSO₄、CaCl₂ 等溶液中的溶解度进行过测定, 以 mol/100 mol H₂O 的單位表示, 並以圓滑的曲線繪成圖。表 9 就是按上述曲線將溶解度換算为重量百分率的結果。CaSO₄ 的溶解度可从表 9 中看出, 在与 CaSO₄ 具有共同离子的鹽类(如 MgSO₄、CaCl₂)溶液中, 其溶解度將随鹽类濃度的上昇而減少; 但对未含共同离子的鹽类(如 NaCl、MgCl₂)溶液, 其溶解度最初虽因鹽类濃度的上昇略有增加, 待濃度提高之后, 反而下降。但此种关系却与利用簡單的质量作用法所計算的結果不一致。

K-Na-Cl 系統与海鹽的溶解平衡 (表 11, 12-1, 12-2, 12-3, 12-4, 12-5, 圖 10, 11-A, 11-B)

如果考虑到海水是各种鹽类的混合溶液, 而且制鹽与苦澇利用又是以析出分离此等溶存于海水中的鹽类为目的, 則單体鹽类或其混合物的溶解度(換言之, 即溶液平衡); 实为制鹽或苦澇利用的基础, 其重要程度可想而知。如將已往的有关資料悉数罗列, 必將極其龐大, 本文限于篇幅只能刊载其中的一部分, 而且即对列举的各表, 如加以詳細說明, 亦感相当繁瑣, 故予簡略, 必要时請参考下列文献:

- 1) 大幸勇吉: 化学实验学第 1 部第 2 卷 P. 131~215(1941)
- 2) 大幸勇吉: 高等物理化学講座, 化学 1 之 3, P. 106(1929)
- 3) J. H. Van't Hoff: Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der Ozeanischen, Salzablagerungen, insbesondere der Stassfurter Salzablagers (1912)
- 4) J. D'Ans: Lösungsgleichgewichte der Systeme der Salze Ozeanischer Salzablagerungen (1933)
- 5) W. C. Blasdale: Equilibria in Saturated Salt Solutions (1927)

三、密度

水的密度 (表 13-1, 13-2)

水的密度为構成各种溶液比重的基础, 关系重要, 特行刊出。关于水的密度, 过去虽然發表过許多测定者的各种各样的数据, 但本文只採用刊载于国际审定表(International Critical Tables, I. C. T.) 的有关数据。

波美比重 (表 14-1, 14-2)

在制鹽工業上, 虽以鹽类溶液的濃度作为管理生产操作的根据, 但鑑于濃度与比重之間, 具有一定的关系(因現場測定, 其容許范围較大, 对于温度及組成的变化, 可以略去不計), 而且測定比重又較測定濃度簡便, 因此, 一般均以比重作为管理生产的根据。在制鹽工業上, 一般均採用波美比重。按日本度量衡法施行細則(1910 年农、商务部令第 28 号) 第三条第四款規定, $d = 144.3 / (144.3 - B)$, 並以 15°C 为基準温度。到計量法(1951 年法律第 207 号) 制定以后, 度量衡法及其施行細則, 即被廢止。因此, 日本关于波美比重的法律根据, 目前尚为一項空白。在上述部令中, 对 d 的温度, 因未註明是 d_{16}^4 , d_{15}^{15} 抑或是 d_t^t , 如按上式將 15°C 时的水作为 0°Bé, 显然, d_t^t 並不适当。若考虑到測定温度的广泛范围, 則 d 的温度应以 d_{15}^{15} 为宜。至于浮秤的玻璃膨胀系数以及液体表面張力等等影响, 因其程度極微, 均可略去不計。关于补正問題, 可参考应用

物理学辞典 (Dictionary of Applied Physics), 卷三, 431~440 页 (1923), 比重計項內。另外, 如用 d_4^{15} 則有利用 $d_4^{15} \cdot d_{15}^{15} = 144.3 / (144.3 - B)$ 式的必要, 此时, $d_4^{15} = 15^\circ\text{C}$ 时的水的密度 $= 0.9991265 \text{ g/ml}$, 如果容許影响到波美度的第一位小数, 則可使用以三只为一組的 (刻度为 0.1°Bé) 波美比重計測定, 19 只为一組的 (每一刻度的 $\pm d = \pm 0.002$) 真比重計进行測定。不过上述方法, 仍須以比重瓶进行补正, 否則其結果就会不可靠。

世界各国所用的波美比重, 如下表 (参考日本化学会編: 化学便覽, P. 330, 1952) 所列, 約有数种, 但其用法各自不同, 希望今后参考外国文献时, 能加注意。

	基 准	測定温度 $^\circ\text{C}$	d 与 B 之間的关系式	
			重 液 用	輕 液 用
波 美	以水为 0°Bé , 以 1.8429 (d_{15}^{15}) 的硫酸为 66°Bé	15	$d = 144.3 / (144.3 - B)$	$d = 144.3 / (144.3 + B)$
荷 蘭 波 美	以水为 0°Bé , 以 10% NaCl 溶液的比重为 10.746°Bé	12.5	$d = 144 / (144 - B)$	$d = 144 / (144 + B)$
美 式 波 美		15	$d = 145 / (145 - B)$	$d = 145 / (145 + B)$
旧 式 波 美	对于重液, 則以水为 0°Bé 以 10% NaCl ($d_{15}^{15} = 1.073$) 溶液为 10°Bé ; 对于輕液, 則以 10% NaCl 溶液为 0°Bé , 以水为 10°Bé	$\left\{ \begin{array}{l} 12.5 \\ 15 \\ 17.5 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} d = 145.88 / (145.88 - B) \\ d = 146.3 / (146.3 - B) \\ d = 146.78 / (146.78 - B) \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} d = 145.88 / (135.88 + B) \\ d = 146.3 / (136.3 + B) \\ d = 146.78 / (136.78 + B) \end{array} \right.$
A.P.I. (American Petroleum institute 波美)		$\left\{ \begin{array}{l} 15.55 (60^\circ\text{F}) \\ 12.5 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{—} \\ d = 136.8 / (126.8 - B) \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} d = 141.5 / (131.5 + B) \\ d = 136.8 / (126.1 + B) \end{array} \right.$
Quartier		12.5	$d = 170 / (170 - B)$	$d = 170 / (170 + B)$

d 表示当測定温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的 d_t^t , B 表示温度为 $t^\circ\text{C}$ 时波美度。

海水的密度 (表 15)

海水的密度 (或比重), 在海洋学的領域內, 早已进行过精密的研究。不过, 在測定方法上, 与其利用浮秤直接測定, 不如利用硝酸銀滴定法, 由含氯量間接計算的方法反而較為准确。

滴水的密度 (表 16-1, 16-2, 16-3, 圖 12, 13)

关于滴水的密度 (或比重), 目前虽对 NaCl 饱和点以下的濃度进行过多次的測定, 但对饱和点以上的濃厚母液及其苦滴, 則因濃縮变化的条件較為复杂, 尚未获得足以信任的測定数据。至于真空蒸發罐內的溶液濃度, 一般虽以浮秤所測得的比重測定值进行判断, 不过, 以浮秤測定, 須在液温逐漸冷却的狀況下进行, 其測定温度不易固定。同时由于悬浮物所产生的誤差以及过飽和等影响, 对于准确度, 更难掌握。然而, 除此之外, 尚無其他适当的方法, 故目前只得繼續使用。

濃縮率 (表 17, 圖 14)

濃縮率系表示某一定量 (1000 cc) 的海水, 經過濃縮之后, 其液体 (不包括析出的固形物)

的重量（即重量濃縮率）與液體密度之間的關係。為使濃縮率能成為與濃度成比例的量，以便和其他條件不同的數值進行比較，可從密度中減去相同溫度的水的密度（亦有人稱之為比重超度）。此外，鑑於容量濃縮率對於各種不同溫度的數值，不便比較，一般多採用重量濃縮率。將此繪於對數方格紙上，可以得出飽和以前及飽和以後的略成直線形的兩條直線。若從國際審定表（I. C. T.）上摘錄 25°C 和 100°C 兩種溫度下的 NaCl, Mg Cl₂ 和 MgSO₄ 的密度與濃度，與前圖比較，則可看出，純粹鹽類幾乎均在同一線上，而且在飽和以前的滴水的直線附近。從此可以設想，如對滴水進行精密測定，其線段將與代表鹽類的直線一致。迨至飽和以後，因於濃縮期中，NaCl 將從溶液中陸續析出，促使溶液的組成發生變化，從而引起比重的變化。

食鹽水的比重 （表 19-1, 19-2）

1887 年 Gerlach 氏在德國分析化學會誌上，曾以鹽類溶液的物理性質為題，發表過長達 100 余頁的論文。其中關於 NaCl 溶液的比重，曾經列出 26 個數值，特轉載於本篇的表 19-1。如果就各種比重之差進行研究，將可明顯看出，在上述 26 個數值之中，僅有 7 個為實測值，其他是以此為基礎用內插法計算出來的。此後，雖然曾經發表過多種優秀的測定數據，但是，在製鹽工業上，竟未被製鹽技術人員所採用。相反，對於前述 19 世紀的測定值，目前卻應用得相當普遍。目前所用的數值如表 19-2，即從 Gerlach 氏的原表（表 19-1）中，將 d_{4}^{20} 換算為波美比重；而且為便於使用起見，製成以波美為整數的數表，同時，經過計算，求得一些必要的項目（如 NaCl 的重量%、溶液 g/Kl、鹽分 Kg/Kl、水分 Kg/Kl 等），一併繪製成表。正是由於沿用了此種繁瑣的換算方法，使製鹽工業上普遍應用的所謂 Gerlach 氏表的內容，成為多種多樣而互不一致。尤其是由於誤算、誤印而製成的錯誤數表，更是普遍存在。同時，此類數表一般的傾向是數字的位數過多。如從原論文測定值的精度考慮，其中毫無實際意義的數字也是為數不少。當然，本表所羅列的只是有關純食鹽溶液的數據，與實際應用的滴水，顯然具有若干的不同，在使用上應加注意。關於本表數據的評論，可參考原田，有賀：鹽業時報 №. 75, P. 22 (1954)。

滴水濃度表 （表 20）

由上述得知，滴水的比重與含鹽量之間的關係，殊與食鹽溶液的情況不同，如以後者作為製鹽作業的實際應用數據，必將發生很大的誤差，因此，製成足以表示滴水濃度（或比重）與含鹽量之間的關係數據，實為必要。本表即為其中之一，因其誤差較少，而被廣泛利用。本表系從鹽業技術參考資料（1936）上，選擇不同濃度的 140 余种分析值，求出含鹽量（重量百分率 P%）與比重（ d_{4}^{20} ）之間的關係，作為記點，並在各點分佈極為接近的位置，引一直線（ $d_{4}^{20} = 1 + 0.00805 P$ ）。另對低濃度的部分，用 Knudsen 氏海洋調查常用表，加以補正（補正方法的詳細內容不明），以此為基礎，製成表 20。

四、粘度 （表 22, 23, 24, 25, 圖 16, 17, 18）

水的粘度，不僅單純地對於水的本身具有重要的意義，而且對於其他液體的粘度，亦因常用如 Ostwald 型粘度計之類，與水的粘度比較之後，方能肯定。所以，其他液體的粘度，將因水的粘度之不同而發生變化。關於水的粘度，過去在各種數據表上，曾經記載着許多分歧的數值，但於計量局（Bureau of Standards）的精密測定結果發表之後，似應以此作為一項共同的标准。

關於滴水和苦滴的粘度，藤貫氏等人的測定數據與堺氏等人的數據，趨向一致，即均較原田

氏或今津氏等人的数据稍高。藤貴氏等人系採用复杂的絕對測定的方法，可能發生較大的誤差。而堺氏等人的測定系利用 Ostwald 型粘度計，对于粘度計算式

$$\eta = A\rho t - \frac{B\rho}{t}$$

的第二項，則予略去，从而可以設想，堺氏的动机將以力求簡便适于实用为主。至于原田氏的数据，則嫌偏差过多。此外，今津氏的測定，虽未盡善，但在实用上，却足够准确，希望以此作为标准。

今津氏等人的測定，仅止于食鹽飽和点以前的濃度，对于母液、苦滴的范围，則截至目前为止，尚未获得可靠而有系統的数据，而且在此种濃度范围之内，即或对于具有同一密度的液体，其粘度亦將由于組成之不同，發生若干的差異，为此，只可暫以目前的知識水平为基础，將想像可能接近于实际的相对粘度的推想線繪入圖 17。

鑑于滴水的相对粘度，因温度而引起的变化較小，所以，当缺少各种温度的粘度数据时，可將 $t^{\circ}\text{C}$ 时的相对粘度 $\frac{\eta}{\eta_w}$ 乘以 $t^{\circ}\text{C}$ 时的水的粘度，以求出温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时的滴水粘度的近似值。以海水为原料的滴水和苦滴的粘度，是影响蒸發罐傳热系数的重要因素（堺嘉之，西本俊雄，畦地昭二：防試速報 №.3 1951；畦地昭二：同上杂志 №.12, 1952）。

Mc Adams 氏曾建議用下式計算液側境膜傳热系数 h ($\text{KCal}/\text{m}^2, \text{hr. } ^{\circ}\text{C}$):

$$hD/K = a (Dup/\mu)^{0.8} (C\mu/K)^{0.4}$$

式中： D = 管徑(m);

u = 平均流速 (m/hr);

K = 液体的傳热率 ($\text{KCal}/\text{m. hr. } ^{\circ}\text{C}$);

μ = 液体的粘度 ($\text{Kg}/\text{m. hr}$);

ρ = 液体的密度 (Kg/m^3);

C = 比热 ($\text{KCal}/\text{Kg. } ^{\circ}\text{C}$);

a = 常数 ≈ 0.023 。

五、表面張力 (表 26, 27, 28, 29, 圖 20, 21, 22)

表面張力因与等張比容 (Parachor) 等有关，作为一项基本的物理常数而被測定。不过，測定的准确度小，实际应用上的需要性較少，故測定值也就不多，測定的范围也較狹窄。

水的表面張力，于 100°C 以下的低温范围之内，系指空气与水之間的表面張力；在 100°C 以上的高温部分，則指蒸汽与水之間的表面張力。因此特在圖 20 中分別加以記載。各有关数表系由原著摘录，不过因原著無圖，故由編輯者繪制。苦滴部分的表面張力甚小。而鹽类溶液不仅無此傾向，且其表面張力与濃度同时俱增，这是兩者之間的不同。

六、冰点 (表 30, 31, 32, 圖 23, 24)

溶液的冰点，除用于測定分子量之外，在海洋学上又与冰山的研究有关，即在制鹽工業，作为曾于 1945 年前后盛行一时的冰下採鹹的基础資料；也是相当重要的。关于海水的冰点，在日本曾有三宅氏的測定，且由此对沸点上升，蒸汽压下降和滲透压等进行計算。至于滴水的冰点数据，一般較少，在中国旅大鹽業試驗場要覽上，对于有关的測定值或測定方法均未刊载。至于一般的

測定，不僅濃度範圍小，而且對於冰晶點的位置，對於 CaSO_4 或 Na_2SO_4 的關係，目前尚未判明。鹽類溶液的冰點，就是冰晶點，是联接溶解度曲線所必需的數值。

七、沸點與蒸汽壓 (表 33, 34, 35, 36, 圖 25, 26, 27, 28)

稀薄溶液的沸點，除用於測定分子量之外，在制鹽工業上，也是設備設計的一項重要數據，但對高濃度的溶液，因近於飽和狀態，測定困難，可資信任的程度大大降低。同時，由於經常發生過熱 (Superheat) 現象，更使測定趨向複雜。至於測定方法，大致可以分為飽和蒸汽壓測定法與沸點測定法兩種，最近，後者的測定技術大有進步。

按照 Gerlach 氏的經驗，認為對於鹽類溶液的沸點測定，即或使用發生過熱現象最少的鐵制搪瓷燒杯，其準確度亦難信任。

關於滴水的蒸汽壓，過去曾有原教授等人的測定數據。該項資料僅限於食鹽飽和以前的濃度範圍，但在精度上，一致認為是確切的數據，但是，若與最近所發表的內田教授等人或芝教授等人的數據對照，則有相當的差異，因此，對於原氏數據不免發生懷疑。不過，依目前的情況而論，孰真孰偽尚難斷定。至於食鹽飽和以後的數據，就更難真實。何況上述實驗室的数据，和用於市場的蒸發罐內的沸點上昇，尚有相當差別。對此問題，目前尚未詳細研究，希望今後早為解決。

八、滲透壓 (表 37)

滲透壓是醫學領域內的一項問題，截至目前為止，尚未發表有關測定的數據。在海水方面，其滲透壓亦為計算值。

九、折光率 (表 38, 39, 40, 41, 圖 29, 30)

在分子構造論中，折光率與誘電率共同用於分子的極化 (Polarization)。而且因與比容有關，在光學上亦頗重要。此外，因折光率的測定簡單又與濃度略呈直線形的關係，可用作濃度計，但此種測定器的價格頗為昂貴。

十、導電率 (表 42, 43, 44, 45, 圖 31, 32)

導電率對於濃度測定、自動控制等等，具有優越的性質，不過，對於滴水，當其濃度達飽和程度時，導電率卻出現極大值，致使準確度降低難合理想。又因電極的污染、液體的極化作用以及測定器的穩定性等等原因，引起誤差。

十一、傳熱率 (表 46, 47, 48, 圖 33, 34)

傳熱率是計算液側境膜傳熱系數的重要數據。關於水的傳熱率，目前已有極其精確的測定數據。但是對於一般的鹽類溶液，其傳熱率因濃度的增加而極輕微地降下，如不進行週密的測定，則很難測出。關於滴水的傳熱率，目前尚無任何測定。

十二、比熱 (表 49, 50, 51, 52, 圖 35, 36, 37)

比熱與前述傳熱率相同，亦用於計算境膜傳熱系數，同時是熱力學上的一項重要數據，目前已有多種測定。

十三、扩散系数 (表 53, 圖 38, 39)

表示鹽类溶液与水直接接触时的扩散系数的比較。

十四、溶解速度 (表 54)

溶解速度系表示具有一定表面积的各种鹽类的溶解速度，至于呈顆粒状态並进行不同攪拌的鹽类的溶解速度，可参考永田进治、横山藤平、北村和夫：化学工学，17，95~98 (1953)。

十五、其他

蒸汽表 (表 58-1, 58-2)

本篇只列举饱和蒸汽表一种，对于过热蒸汽，可参考其他文献。

一、組 成

表 1 海 水 的 組 成

表 1—1 海 水 的 主 要 成 分 (Fleming) (1940)

[參看圖 1]

Sverdrup, Johnson, and Fleming: The Oceans, Their Physics, Chemistry, & General Biology, p. 173, (1946).

(以下略記為 Sverdrup)

離 子	濃 度 g/kg 溶液	當量/kg 溶 液	g/100g 固形物	Chlorinity-ratio g/g Cl	備 考
Cl ⁻	18.9799	0.5353	55.0436	0.99894	Dittmar (1884), Jacobsen & Knudsen (1940)
SO ₄ ⁻	2.6486	0.0551	7.6812	0.1394	Thompson, Johnston & Wirth (1931)
HCO ₃ ⁻	0.1397	0.0023	0.4051	0.00735	Revelle (1936)
Br ⁻	0.0646	0.0008	0.1873	0.00340	Dittmar (1884)
F ⁻	0.0013	0.0001	0.0038	0.00007	Thompson & Taylor (1933)
H ₂ BO ₃	0.0260	未溶解	0.0754	0.00137	Harding & Moberg (1934), Igelsrud, Thompson & Zwicker (1938)
陰離子合計	21.8601	0.5936	63.3964	1.15053	
Na ⁺	10.5561	0.4590	30.6127	0.5556	By Difference, & Robinson & Knapman (1941)
Mg ⁺⁺	1.2720	0.1046	3.6888	0.06695	Thompson & Wright (1930)
Ca ⁺⁺	0.4001	0.0200	1.1603	0.02106	Kirk & Moberg (1933); Thompson & Wright (1930)
K ⁺	0.3800	0.0097	1.1020	0.02000	Thompson & Robinson (1932)
Sr ⁺⁺	0.0133	0.0003	0.0386	0.00070	Webb (1938)
陽離子合計	12.6215	0.5936	36.6024	0.66431	
計	34.4816				

如按日本專賣公社有關鹽業分析的規定，將上表的數值，以結合法計算，則其鹽類組成如下。

鹽 類	濃 度 g/kg 溶液	g/100g 固形物	Chlorinity-ratio g/g Cl	備 考	鹽 類	濃 度 g/kg 溶液	g/100g 固形物	Chlorinity-ratio g/g Cl	備 考
CaSO ₄	1.38	4.03	0.073	(1)	KCl	0.72	2.11	0.038	
MgSO ₄	2.10	6.12	0.110		NaCl	26.69	77.93	1.405	(3)
MgBr ₂	0.08	0.22	0.004		(NaCl)	(26.83)	(78.34)	(1.412)	(2)
MgCl ₂	3.28	9.59	0.173		計	34.25	100.00	1.800	

Cl=19.00%, S=34.325%, 溶存離子的總和=34.4816%, d₂₀²⁰=1.0243

若將 HCO₃⁻ 換算為 O⁻，將 Br⁻ 換算為 Cl⁻，則溶存離子的總和為 34.324%，成為與鹽分 (Salinity) 相似的數值。

(1)，在 Ca 的數值中包括 Sr，(2)，NaCl 的數值，系按上述結合法從剩餘的 Cl 的含量求出。(3) (NaCl) 的數值系從上述 Na 的分析值求出。

表 1—2 海 水 的 主 要 成 分 (各種測定值的比較) g/100g 固形物

成 分	測 定 者 及 測 定 年 分							
	Dittmar ¹⁾ 1884	Thompson ²⁾ 1932	Wattenberg ³⁾ 1938	Lyman, ⁴⁾ Fleming 1940	三宅 ⁵⁾ 1939	西川 ⁶⁾ 1939	Kalle ⁷⁾ 1945	町 田 ⁸⁾ 1950
Na	30.59	30.60	30.43	30.61	36.47	30.73	30.58	30.48
Mg	3.73	3.70	3.72	3.69	3.74	3.75	3.68	3.70
Ca	1.20	1.19	1.19	1.16	1.19	1.23	1.18	1.18 (包括 Sr)
Sr	—	0.04	0.04	0.04	0.04	—	0.04	—
K	1.11	1.09	1.11	1.10	1.06	1.03	1.11	1.12
Cl	55.29	55.18	55.14	55.04	55.31	55.41	55.04	55.20
SO ₄	7.69	7.72	7.70	7.68	7.73	7.86	7.68	7.70
CO ₃	0.21	0.30	0.40	HCO ₃ ⁻ 0.41	0.20	—	HCO ₃ ⁻ 0.41	HCO ₃ ⁻ 0.41
Br	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	—	0.19	0.19
B(OH) ₃	—	—	0.08	0.07	0.08	—	0.08	BO ₃ ⁻ 0.01
NaCl	77.54	77.56	77.35	77.41	77.64	77.76	77.38	77.58
(NaCl)	(77.75)	(77.78)	(77.35)	(77.80)	(77.45)	(78.11)	(77.73)	(77.47)
MgCl ₂	9.74	9.60	9.70	9.52	9.74	9.81	9.52	9.56
MgSO ₄	6.03	6.05	6.02	6.09	6.06	6.16	6.03	6.10
CaSO ₄ (包括 Sr)	4.08	4.10	4.10	4.00	4.10	4.18	4.07	4.01
KCl	2.18	2.08	2.12	2.10	2.02	1.96	2.12	2.14
MgBr ₂	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	—	0.22	0.22

在上表的鹽類組成中，NaCl 的數值系表示利用除 Na 離子以外的其他陰離子與陽離子之差所計算的數值，而 (NaCl) 則表示由 Na 離子所計算的數值。

又按日本專賣公社有關鹽業分析的規定，在結合中將 CO₃ 及 B(OH)₃ 除外。