

北濱公路陰陽海成因的探討

譚柏雄

臺北市立建國高級中學

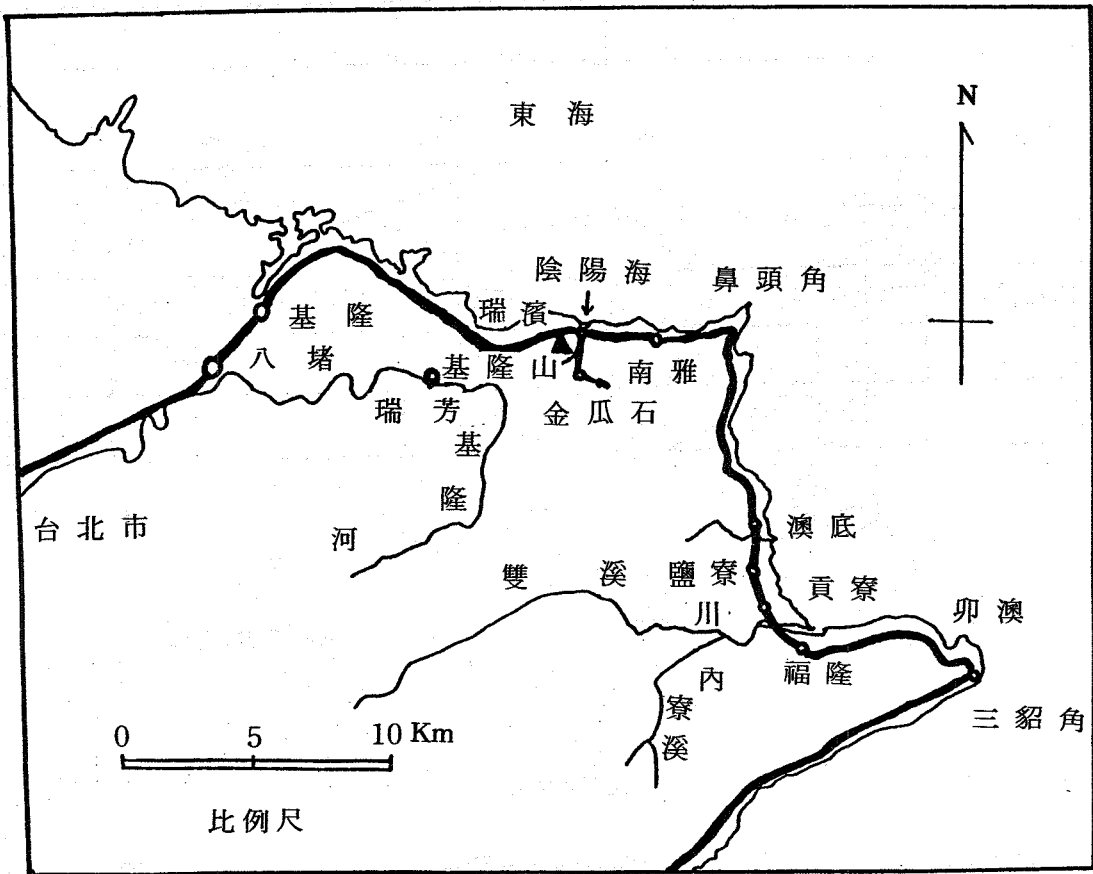
一、前言

近幾年來，工業發展迅速，各種污染急遽增加，環保問題受到愈來愈多的重視。在北部濱海公路水湳洞附近有一處聞名的陰陽海（圖一），海水半黃半藍，壁壘分明，非常特殊。關於陰陽海的成因可謂衆說紛紜，莫衷一是，有人認為是自然的地質現象（註1），也有人歸咎於工業污染（註2），但是都未經過證實。

本文即以文獻蒐集與實地調查採樣分析的方法，對陰陽海作一較深入之研究，而欲達成下列二項目的：(1)分析陰陽海的水文特性；(2)探求陰陽海海水呈現黃褐色的真正原因，並嘗試找出有無方法使其恢復原來的藍色海水。

在蒐集有關陰陽海的地圖、報紙、期刊、論文及研究報告後，得知有關陰陽海海水顏色的成因，全為猜測性的報導，並無人追根究底的研究過。因此，筆者於民國77年11月6日、13日及26日三次實地調查，第一次勘察陰陽海及注入海中之濂洞溪的地形，第二次對濂洞溪作初步採樣，分為七站進行分析，結果並未得到答案，但稍可看出端倪，第三次則溯濂洞溪而上，探索每一條支流的源頭，並沿途採取溪水及懸浮物，分析其化學成分作為追蹤劑，共得到51站的樣本。

本研究所使用之設備及器材可分為二部分：(1)採樣設備儀器：濾紙（pore size $0.2\ \mu\text{m}$ ，diameter 47 mm）、過濾器、壓力槍、PP體積器、沖水器、培養皿、PE瓶；(2)化學分析設備儀器：濾紙、過濾器、電子天平、電動抽氣機、超音波震盪器、酸鹼計（pH meter）、原子吸收光譜儀（AAS）。



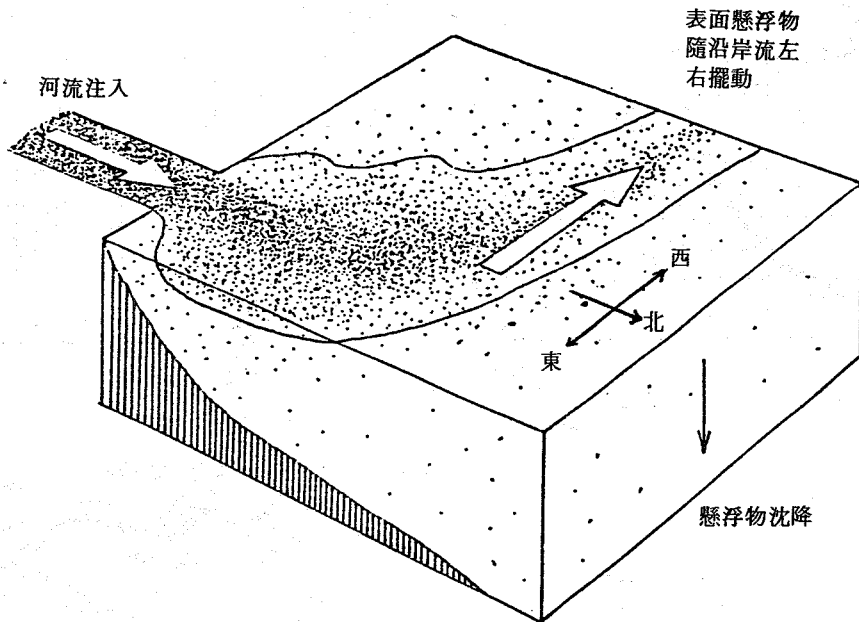
圖一 研究地區位置圖

二、陰陽海的水文特性

在北部濱海公路基隆山的東北有一個小海灣，稱為濂洞灣，灣口直線距離僅 0.6 公里，港灣濱線長為 1.1 公里，港灣面積也僅 0.22 平方公里（註 3），但是海水經常半黃半藍，顯得陰陽怪氣，所以被人稱為陰陽海。海灣中黃褐色的海水充滿大量懸浮物，但是只有表面薄薄的一層，下層仍是清澈而密度較大的海水。根據實地觀察，黃褐色的海水在濂洞灣內的範圍大小不定，而且會受到潮汐的影響而東西擺動，漲潮時向西，退潮時向東，但在海灣以外則受沿岸流的影響而有向西移動的趨勢（圖二）。

距離陰陽海沿岸約 1 公里的地方，有台灣金屬礦業公司已停工的廠房，過去以煉金銅著名。就在濂洞溪以東的灣內，有一個較小的台金公司排水口，仍然有水斷斷續續的流入陰陽海中。另外，在台金公司以東 1.5 公里的南雅里，有台電禮樂煉銅廠廠房，附

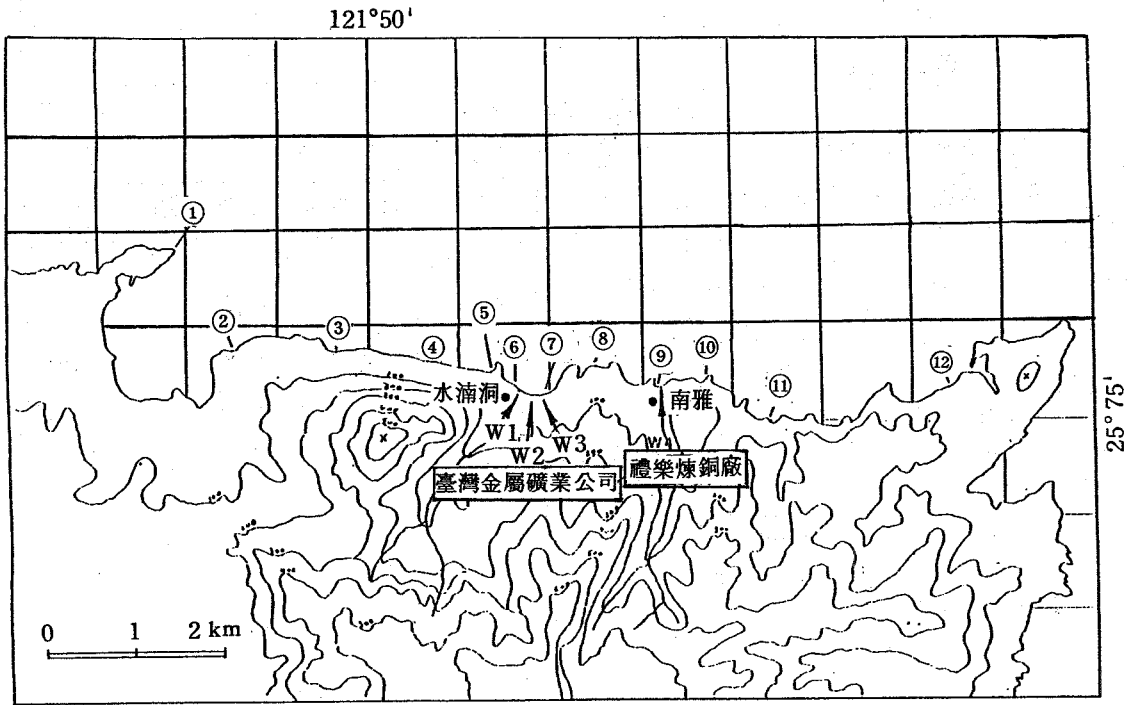
近的海水顏色也較混濁，但是此處海域並非一般人所稱的陰陽海。



圖二 陰陽海懸浮物隨沿岸流的擺動

海洋污染是台灣環境污染問題中的一個重要課題，和沿海養殖漁業及生態平衡都有密切關係，行政院環保署對西海岸做過重金屬含量的調查研究（註4），學者專家對東北海岸也做過類似的研究（註5），由此可顯示陰陽海在東北海岸中特殊的水文特性。

陰陽海的水色黃褐為顯而易見的事實，但亦可用懸浮物的含量來表示海水的混濁度。在東北海岸設置了12個測站（圖三）分析海水懸浮物的含量，除了禮樂煉銅廠之外，陰陽海的懸浮物濃度都比其他海域高（表1）。但將海水用濾紙過濾後，水色即澄清，可見陰陽海水顏色的成因，主要由懸浮物而來。在不同的月份，陰陽海的水溫、鹽度均有變化，但是懸浮物濃度都在 $50 \text{ mg}/\ell$ 以上，平均為 $57.8 \text{ mg}/\ell$ ，相當驚人，而酸鹼度（pH值）則都小於5，偏向酸性（表2）。再根據77年11月13日實測的結果，陰陽海海水的混濁度為 $74.76 \text{ mg}/\ell$ ，酸鹼度為6.63，Fe、Cu、Mn、Zn等重金屬的含量各為37.942、0.599、0.622、0.334 mg/ℓ （註6）。



圖三 東北角海水採集站分布 (資料來源：同表1)

表1 東北角沿岸海水中懸浮物含量

測站	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
懸浮物 (mg/l)	30.4	21.9	19.1	31.2	43.2	62.9	52.6	38.4	63.2	28.9	20.8	21.7

註1：資料來源：由黃穰等 (77年) 計算而得。

2：其中測站6、7為陰陽海，9為禮樂。

表2 陰陽海的水文特性

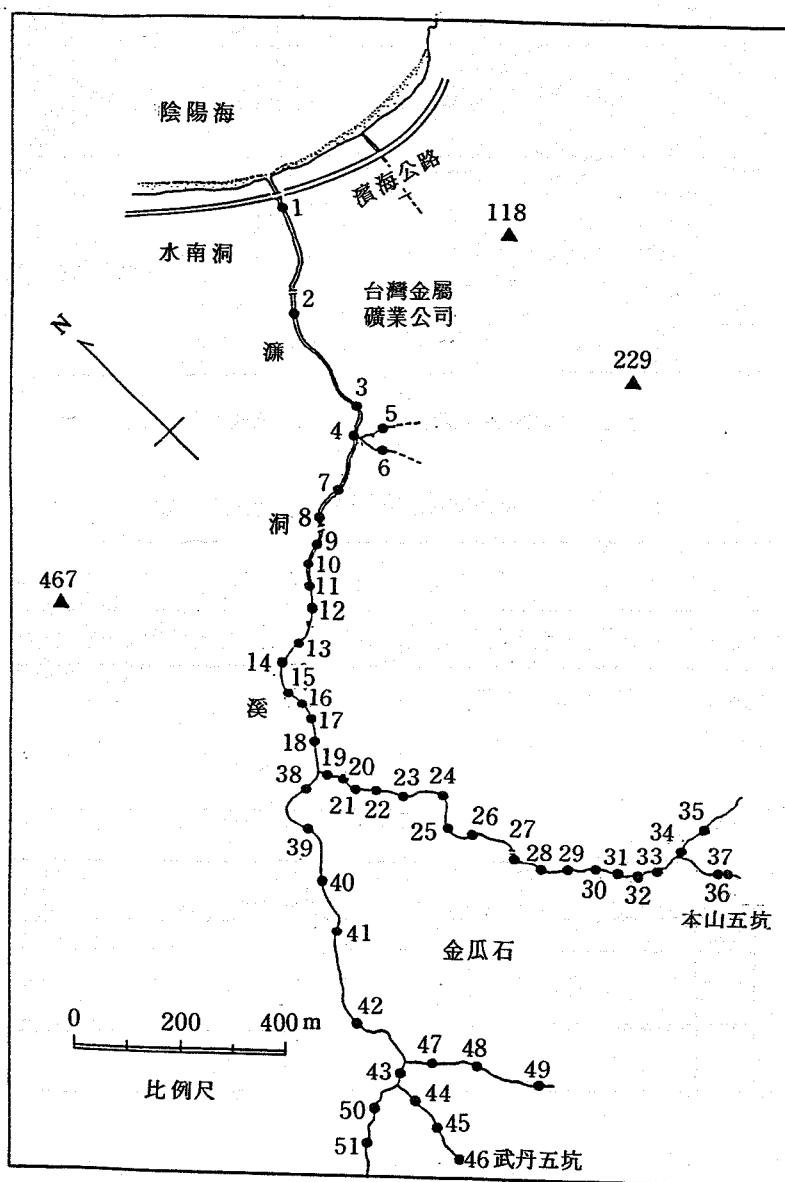
日期 \ 項目	水溫 (°C)	鹽度 (‰)	懸浮物濃度 (mg/l)	酸鹼度 (pH)
76年12月10日	19.6	24.6	56.5	4.95
77年2月26日	17.7	32.8	51.6	4.82
77年5月24日	25.8	34.1	65.3	4.89

資料來源：同表1。

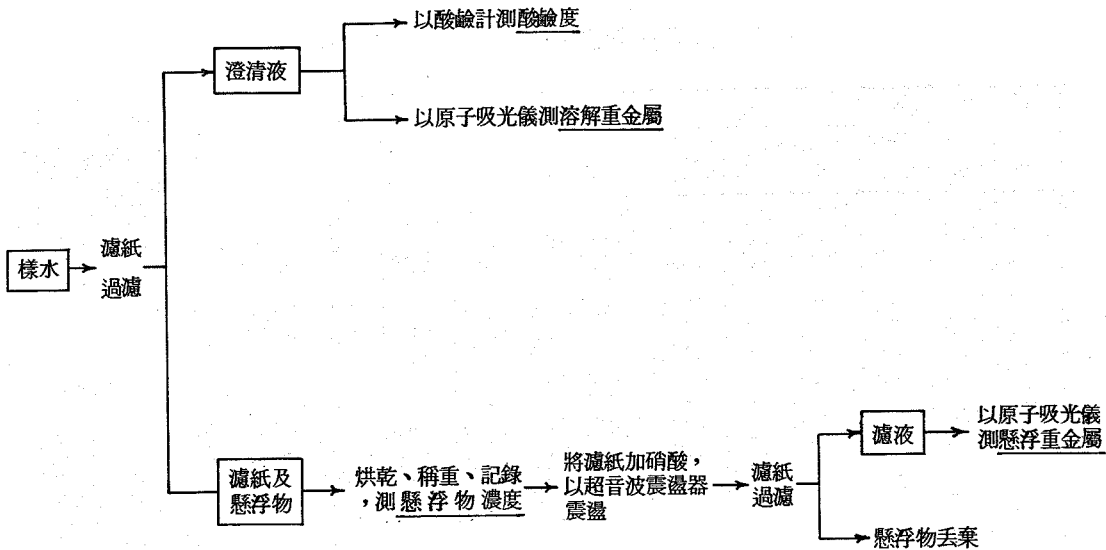
三、濂洞溪溯源

由於陰陽海黃褐色的物質是由濂洞溪挾帶大量的懸浮物而來，因此筆者於77年11月26日溯溪而上，遍走每一條支流，沿溪採取樣水分析，共得51站（圖四）。

溪水採回後，當天立刻在實驗室依序作以下各項化學分析（圖五）。



圖四 採樣測站分布圖



圖五 採取樣水分析流程圖

1. 懸浮物濃度：將每站採取的樣水各取 250 ml，使其通過已稱重的濾紙，置入 110℃ 烘箱烘乾，取出冷卻後稱重，然後以下列方法計算：

$$\text{懸浮物濃度 (mg/l)} = \frac{\text{含懸浮物濾紙重} - \text{濾紙重 (g)}}{\text{樣水體積 (l)}} \times 1000$$

2. 酸鹼度：過濾後的澄清液以酸鹼計測定酸鹼度。
3. 溪水溶解的重金屬含量：已過濾的澄清液，用原子吸收光譜儀測定溶解於水中的 Fe、Cu、Mn、Zn 之濃度，作為追蹤劑。
4. 懸浮物可溶出的重金屬含量：將測過懸浮物濃度的濾紙，置入 50ml 的燒杯中，加入 10ml 的 2 N 硝酸，以超音波震盪器震盪 30 分鐘後，再加以過濾，濾液用原子吸收光譜儀測定重金屬含量：

$$\text{懸浮物可溶出的重金屬 (mg/l)} = \frac{\text{測定濃度 (mg/l)} \times 10 \text{ (ml)}}{\text{過濾的樣水體積 (ml)}}$$

沿濂洞溪上行，發現台金一排水口（即測站 4）排出的水酸鹼度極低，為強酸性物質，能大量溶解重金屬，而此段溪水為黃色。再往上行，溪水仍為黃色，可見台金公司並非造成陰陽海的主因。

濂洞溪上游分二支流，沿溪石頭上均有紅褐色的鐵垢，顯示上游必有鐵之來源，故分二路再溯溪而上，發現西支溪水混濁，而東支溪水澄清。追蹤東邊支流發現其源頭為

表3 濂洞溪溶解物及懸浮物化學分析

測站	pH值	懸浮物 (mg/ℓ)	銅			鐵			錳			鋅			
			溶解 (ppb)	懸浮 (ppb)	百分比	溶解 (ppb)	懸浮 (ppb)	百分比	溶解 (ppb)	懸浮 (ppb)	百分比	溶解 (ppb)	懸浮 (ppb)	百分比	
主	1	4.0	42	1851	24	99%	571	2188	21%	1148	25	98%	525	188	74%
	2	3.9	57	935	12	99%	529	2398	18%	1103	32	97%	484	191	72%
	3	3.9	50	895	16	98%	739	3171	19%	1088	4	100%	508	317	62%
	7	7.3	66	20	43	32%	23	576	4%	655	50	93%	88	91	49%
	8	6.8	68	64	49	57%	157	710	18%	684	53	93%	121	92	57%
	9	7.2	69	40	51	44%	43	770	5%	672	59	92%	83	90	48%
	10	6.6	75	20	5	80%	64	748	8%	667	57	92%	81	87	48%
	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12	7.3	40	20	25	44%	46	313	13%	688	25	96%	95	136	41%
	13	7.3	73	40	47	46%	47	643	7%	713	60	92%	88	106	45%
	14	7.4	82	37	54	41%	49	1031	5%	712	69	91%	92	145	39%
流	15	7.4	22	20	24	45%	52	472	10%	735	26	97%	96	101	49%
	16	7.4	66	20	60	25%	28	974	3%	718	75	91%	90	130	41%
	17	7.5	119	20	15	57%	48	1330	3%	1021	149	87%	79	147	35%
	18	7.5	91	20	11	65%	65	1285	5%	1025	130	89%	78	163	32%
	19	7.3	12	20	34	37%	36	350	9%	687	18	97%	104	138	43%
	20	6.5	1	194	33	85%	41	152	21%	128	6	96%	136	108	56%
	21	6.4	0	178	41	81%	30	96	24%	122	3	98%	132	145	48%
	22	6.1	9	235	45	84%	31	309	9%	120	6	95%	141	99	59%
	23	6.0	0	269	17	94%	39	145	21%	119	5	96%	154	98	61%
	24	5.7	0	344	9	97%	61	117	34%	129	3	98%	154	95	62%
	25	5.7	0	340	9	97%	77	137	36%	125	2	98%	138	98	58%
東	26	5.4	0	366	9	98%	63	147	30%	122	4	97%	121	112	52%
	27	5.2	0	418	8	98%	78	173	31%	135	2	99%	98	117	46%
	28	5.2	0	397	7	98%	64	195	25%	132	3	98%	101	118	46%
	29	4.9	0	443	7	98%	84	233	26%	151	2	99%	105	119	47%
	30	4.9	1	463	8	98%	67	247	21%	150	2	99%	106	112	49%
	31	4.8	0	527	6	99%	82	305	21%	164	3	98%	114	164	41%
	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	33	3.2	12	549	5	99%	132	452	23%	141	3	98%	119	135	47%
	34	6.4	0	38	2	95%	56	51	52%	52	3	95%	96	118	45%
	35	6.5	0	31	3	91%	31	54	36%	50	2	96%	61	113	35%
	西	38	7.1	116	56	11	84%	111	1256	8%	1030	108	91%	102	148
39		7.4	163	20	11	65%	102	1220	8%	1047	134	89%	80	149	35%
40		7.4	201	20	12	63%	127	1320	9%	1155	178	87%	74	147	33%
41		7.4	181	20	12	63%	95	1305	7%	1311	173	88%	73	185	28%
42		7.3	237	20	13	61%	84	1328	6%	1350	179	88%	79	157	33%
43		7.3	56	20	11	65%	56	1362	4%	1553	134	92%	148	199	43%
44		7.8	36	22	8	73%	59	1350	4%	1987	148	93%	82	187	30%
45		7.8	20	21	7	75%	49	1317	4%	2507	186	93%	109	178	38%
46		7.7	12	20	6	77%	63	1355	4%	2324	114	95%	120	158	43%
47		7.4	89	20	9	69%	69	1363	5%	330	59	85%	69	104	40%
48		5.3	70	71	6	92%	58	764	7%	318	136	70%	143	139	51%
支	49	6.6	0	70	2	97%	72	81	47%	16	8	67%	59	112	35%
	50	4.8	310	29	15	66%	141	1286	10%	1402	226	86%	315	121	72%
	51	4.1	0	51	0	100%	107	152	41%	1458	15	99%	332	97	77%
	4	3.7	60	66	81	45%	29	766	4%	713	57	93%	124	111	53%
	5	2.7	1	8268	13	100%	11703	433	96%	4530	17	100%	2868	192	94%
	6	3.0	0	4205	8	100%	9543	199	98%	2085	10	100%	1259	141	90%
	36	3.1	7	5078	17	100%	6211	538	92%	1047	5	100%	301	184	62%
	37	3.2	123	5223	53	99%	5387	11815	31%	1039	15	99%	285	177	62%

註：1.資料來源：實地採樣分析（1988年11月26日）

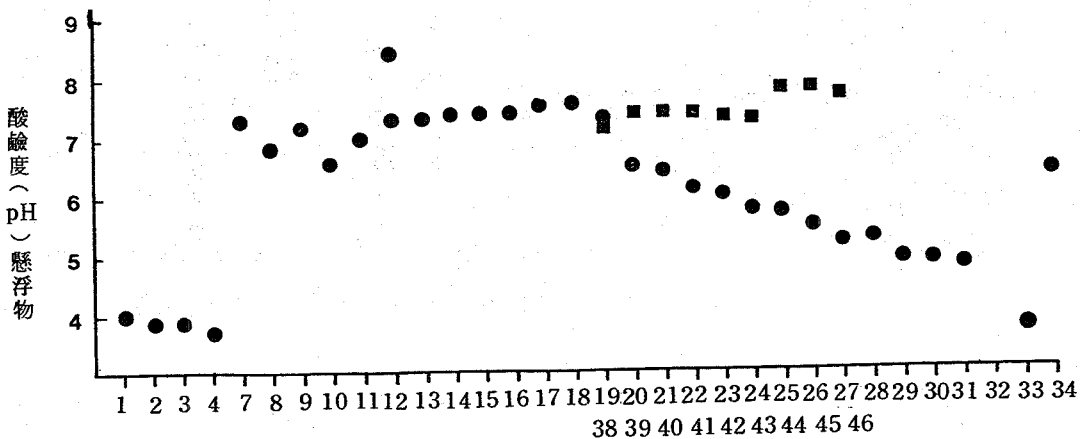
2.·及··為注入之支流

一廢棄礦坑——本山五坑。溪水由礦坑內流出，而此處所採溪水經分析為酸性，且大量溶解 Cu、Fe、Mn，離洞口不久，因氧化作用而 Cu、Fe、Mn 均漸沈澱入土，以致河床變成紅褐色而懸浮物為零。沿西邊支流上行，在金瓜石居民分布地又分為三支，而分析中發現，Mn 等金屬及懸浮物皆來自此條支流，其中以中支最為混濁，其源頭為武丹五坑廢礦坑。

河流搬運物質的方式可以分為三種：(1)溶解 (solution)，(2)懸浮 (suspension)，(3)河床搬運 (bed load) (註 7)。當溪水酸鹼度較大時，重金屬多成懸浮狀態附著於沈積物上；當酸鹼度很小時，表示溪水中含有大量酸性物質，重金屬易成離子狀態溶解於水中 (註 8)。因此，研究各測站的酸鹼度和重金屬含量、存在方式，也有助於了解其相互關係。

5.1 個測站採樣的結果可作如下之分析 (表 3)：

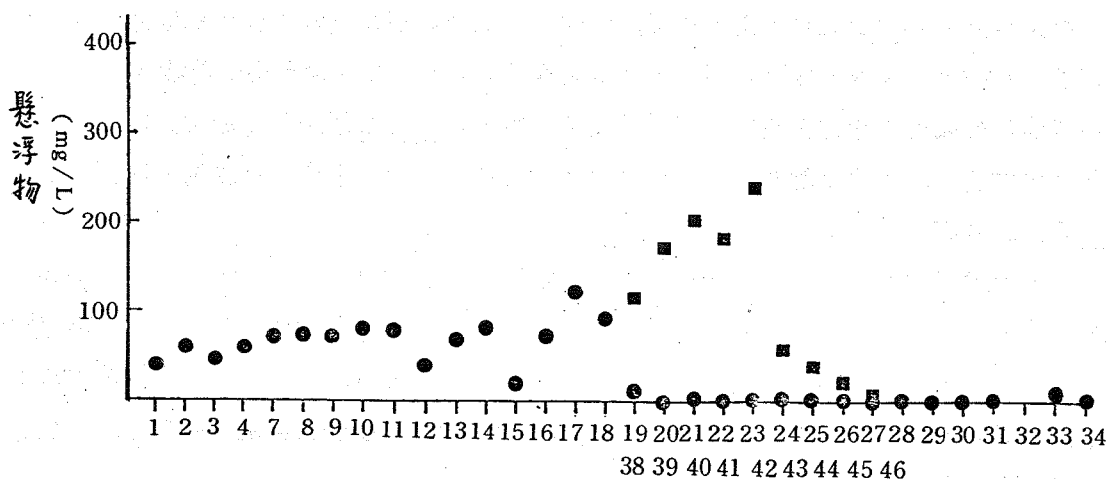
1. 酸鹼度：以東支本山五坑流出的溪水最低 (測站 37、36、33)，向下游逐漸升高，直到第 4 站前仍保持穩定上升。第 4、5、6 站為兩條合金公司排水渠道，酸鹼度極低，僅 2 到 3 之間，使第 3、2、1 站的酸鹼度偏低 (圖六)。



圖六 濂洞溪溪水酸鹼度座標圖 (圖中圓點為東支，方點為西支，18 站以下為主流，圖七亦同)。

2. 懸浮物濃度：懸浮物主要來自西支，尤其是測站 42、41、40、39，東支卻非常清澈，二支流會合後懸浮物便逐漸沈澱而減少 (圖七)。
3. 溶解的重金屬分析：

- (1) Fe：整條濂洞溪 (包括支流) 都含鐵，而主要源頭為東支本山五坑測站 37、36，向下游逐漸沈澱而含量遽減。第 5、6 站台金公司廢水含大量的鐵，使得



圖七 濂洞溪溪水懸浮物座標圖

1、2、3站的含量增加。

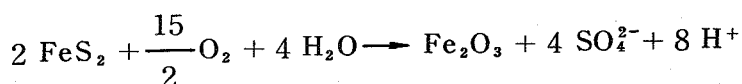
- (2) Cu：含量分布和鐵相似，皆來自東支本山五坑，使測站37、36、33含量高。坑口含量極高，然後向下游急遽下降，直到第5、6站台金排放廢水處又大幅升高。
- (3) Mn：主要來自西邊支流源頭武丹五坑，測站46、45、44含量極高，向下游含量成階梯狀下降。東西兩支流會合後，含量保持低量穩定，直到第5、6站台金公司處又逐漸升高。
- (4) Zn：來自東支流本山五坑，洞口含量偏高，向下游逐漸下降，然後保持穩定，略有增減，至第5、6站時含量又急遽增高，使第1、2、3站之含量甚至超過坑口。

4. 懸浮物可溶出的重金屬含量：由表3可知，濂洞溪東支（測站19～35）及主流下游（測站1、2、3）的酸鹼度較低，含大量酸性廢水，因此除了極少數測站之外，Cu的溶解百分比均大於80%，Mn甚至大於90%，表示重金屬多成溶解狀態存在。此外，河水中溶解的鐵離子和氧結合後，形成 Fe_2O_3 ，附著於懸浮物上而形成較大的顆粒，沈澱於河床上，使石塊表面也呈紅褐色。

四、陰陽海的成因

由陰陽海的水文特性以及在濂洞溪沿溪採樣分析的結果，可以將陰陽海海水黃褐色的原因分以下四點探討。

第一，在金瓜石的礦床中，礦石礦物主要是自然金（Native Gold, Au）、硫砷銅礦（Enargite, Cu_3AsS_4 ）、呂宋銅礦（Luzonite, Cu_3AsS_4 ）與含金的黃鐵礦（Pyrite, FeS_2 ），而脈石礦物則包含石英（Quartz, SiO_2 ）、重晶石（Barite, BaSO_4 ）與黏土礦物（Clay mineral）等。當地終年多雨，距離最近的瑞芳氣象測站年平均雨量高達5346公厘（註9），化學風化作用盛行，加上人工開採，使得黃鐵礦和岩石中的二價鐵 Fe^{2+} 大量釋出，被氧化成三價鐵 Fe^{3+} ，可能成膠質體狀，並現出明顯的紅褐色，使溪水顏色加深，其反應式如下（註10）：



第二，已停工的台金公司及已廢棄的本山五坑、武丹五坑等礦坑，仍然排放出大量的含鐵廢水，使上述作用更為加強。

第三，本地的地質為石英安山岩及中新世沈積岩的混合地帶（註11），土壤貧瘠，植被較少，加上地勢陡峻，溪流短促（註12）而坡度極大，侵蝕非常劇烈，造成濂洞溪中，尤其是西支出現大量懸浮物。若恰逢颱風過境，則濂洞溪所挾帶及流入陰陽海中的懸浮物，更多得驚人。懸浮物上附著氧化鐵膠質體，使顏色更為加深。

第四，濂洞溪入海處的濂洞灣，灣口寬僅0.6公里，較為狹小。且淡水密度小，在濂洞溪注入海灣後，便浮於海水上方。因台灣西岸的漲潮流和落潮流方向相反，造成此處漲潮流向西，落潮流向東（註13），使海灣中的懸浮物不斷擺動，較不易被帶到外海。

五、結論與建議

北部濱海公路台金公司水湳洞廠房旁的濂洞灣內，由於海水經年半黃半藍，且界線明顯，故稱陰陽海。陰陽海旁有一濂洞溪注入，並挾帶大量黃褐色的懸浮物。根據調查，台金公司雖然排放廢水，但是人為因素並非造成陰陽海此特殊景觀的主要因素，而是潮流、海灣、溪水挾帶的懸浮物及所含的重金屬，以及礦坑的開發和旺盛的風化作用

等因素，才是形成陰陽海的主因。

陰陽海雖為難得一見的特殊景觀，但一般人均視其為海水污染。若要消除此一現象，使海水恢復清澈湛藍，似乎可從下列四方面著手：

1. 在濂洞溪入海處，直接用幫浦將溪水沖入外海，避免充滿大量懸浮物的溪水留在海灣中。
2. 在濂洞溪入海處裝一水管伸向外海，直接引溪水入海。
3. 在溪口將懸浮物先行處理，例如加上石灰等鹼性物質，使其酸性降低。
4. 根本之道是在上游及各河段建攔沙壩，使懸浮物先行沈積，並將台金及礦坑之廢水先處理後，才排放入溪。如此，則陰陽海終有澄清的一天。

謝 辭

本研究之完成，承蒙國立台灣大學海洋研究所白書禎教授、楊肇岳教授，研究助理葉榮泰先生、梁松子小姐熱心指導，提供儀器，建國中學廖家偉、林典凱、陳俊維、劉子銘四位同學協助採樣分析，在此特表最大的謝忱！

註 釋

1. 林琅：愚人金作怪陰陽海叫屈，聯合報，72年11月16日。
2. 行政院經建會：台灣北海岸使用及環境保護之研究，頁153，71年。
3. 石再添：台灣北部海岸的地形學計量研究，師大地理系，頁33，59年。
4. (1) 洪楚璋：台灣西部養殖區水質監測與生物體重金屬含量調查研究，行政院環境保護署委託中央研究院國際環境科學委員會中國委員會研究，76年12月。
(2) 洪楚璋：新竹（香山）與台南（安平至二仁溪口）養殖區水質監測與生物體及沈積物重金屬含量調查研究，行政院環境保護署委託中央研究院國際環境科學委員會中國委員會研究，77年7月。
5. (1) 白書禎、黃培宜、楊宜宜、劉正仁：台灣東北角沿岸海水重金屬污染情形及對淺海養殖環境之影響，工業污染防治，第8期，頁25～33，72年。
(2) 黃穰、白書禎、許建宗：台灣東北角海域重金屬污染和生物分布之研究，行政院環境保護署水質保護處委託國立台灣大學海洋研究所執行，77年6月。

6. Jung-Tai Yeh : Pnsea suspension trace metal pH value variety report , 1988.
7. L. Don Leet , Sheldon Judson : Physical Geology , 4 th edition , P.223, 1971.
8. 同註 5 (2) , 頁 11 。
9. 賴金文 : 基隆市氣候之研究 , 國立台灣師範大學地理研究所地理研究報告 , 第一期 , 頁 202 , 64 年 1 月。
10. Robert M. Garrels and Fred T. Maekenzie : Evolution of Sedimentary Rocks , W.W. Northon & Company inc., PP.150 ~ 153 , 1971.
11. 王執明主編 : 大屯火山群及北部濱海地質簡介 , 台灣省政府教育廳科學教育資料叢書 (X) , 頁 20 , 74 年 5 月。
12. 濂洞溪主流長 3 公里 , 主支流總長 7.4 公里 , 見註 3 , 頁 30 。
13. 范光龍 : 漫談台灣西岸沿海海流 , 科學教育月刊 , 第 98 期 , 頁 23 ~ 27 , 76 年 3 月。