

金属の腐食でみた浦上川水辺の環境

～金属の腐食量の測定～

富山 哲之* 寺崎 望美** 中村 新奈***

(平成12年10月31日受理)

Environmental Corrosion of Metals and Alloys at the Region Urakami River
~ Measurement of the Corrosion Mass ~

Noriyuki TOMIYAMA* Nozomi TERASAKI** Niina NAKAMURA***

(Received October 31,2000)

1 はじめに

大気環境は人間や動植物に広く直接に接触しており、またあらゆる生物は呼吸をしなければ生存できないことから大気が汚染されるとその影響を直接受けることになる。更に大気環境は水及び土壌環境とも密接に関わっているために環境汚染による生態系への影響が深刻な問題となっている。近年、学校教育において環境教育の重要性が叫ばれて久しく、理科では身近な自然環境を考える授業が盛んに取り入れられてきた。2002年度から完全実施される新教育課程では、新設された総合的な学習¹⁾に一つの柱として、小学校から環境教育の推進がある。これまで環境学習の多くの実践試行例が見られる。

系・システムの概念として、環境の腐食作用は、自然界での物質の循環に関わるものである。金属の腐食は材料とその環境間の相互作用によって生じる現象であり、身近な問題である。周知のように中学校理科²⁾では、酸化及び硫化の現象が取り挙げられている。鉄の錆は穏やかな化合物の身近な例として学習することになる。このような事例は、今後の環境教育を支える基本的科学概念であると言えるし、環境教育のための教材化の意義はあるものと考えられる。本研究は、簡単に測定できる器具を用いた環境教育を視野に入れ学校教育での指導に対応した内容を模索するものである。

本稿は身近であり調査研究が比較的容易な長崎市内の浦上川流域を対象として、河川環境を金属の腐食という観点から理解しようという試みである。各種金属材料の腐食量について調べ、その経時的な変化の特徴を明らかにしたことについて述べる。

2. 実験方法

実験に使用した金属材料は次の通りである。鉄、ステンレス鋼(18クロム鋼)、銅、真鍮(7-3黄銅)、アルミニウムの5種類の鏡面仕上げされた普通材料を使用した。市販の金

*長崎大学教育学部理科教育講座
***長崎大学教育学部附属幼稚園

**社会福祉法人南高愛隣会

属板の寸法はそれぞれ $40 \times 60 \text{ cm}^2$ 、厚さ 0.3 mm であり、各板材から $5.0 \times 5.0 \text{ cm}^2$ の寸法で切り出したものを試料とした。各試料は超音波洗浄器を使って洗浄し乾燥後、それぞれの質量を精密天秤（実感量 $1 \times 10^{-3} \text{ g}$ ）で秤量した。

実験は1999年10月から12月に浦上川流域又は本学実験室において実施した。浦上川河口から川沿いに 1 km 間隔で1～8地点（9ポイント）を設定し、試料設置場所または河川水と河底土壌の採取場所とした。図1に「地番」（図中○印）と主要な地名または施設名（図中●印）を示す。長崎市の中央部を南北に浦上川が流れる。地図上の「地番」1～8の間は建物が密集しており、交通量の多い幹線道路に近い。浦上川流域の下水道普及率（1996年度）は56.6%に達している³⁾。大橋堰でのBOD年平均値は各地番の中で最も高い場所であり環境基準値をようやく下回るようになったが、未だ本県内でBOD値が高い河川の一つである。以下の要領で、実験開始後は7日おきに金属試料表面模様を目視法による観察と腐食量測定を行った。屋外実験の試料は実験室に移して質量測定した後、その日に再び元の場所に戻した。

実験期間中の試料設置場所の水温、流速、pH、塩分濃度の平均値を表1に示す。地番4には大橋堰があり、堰下付近は河口から海水が流入するために塩分濃度が高い。堰上付近は河川の流量の多い満潮時に塩分を含んだ水流が堰を越えて逆流することがある。

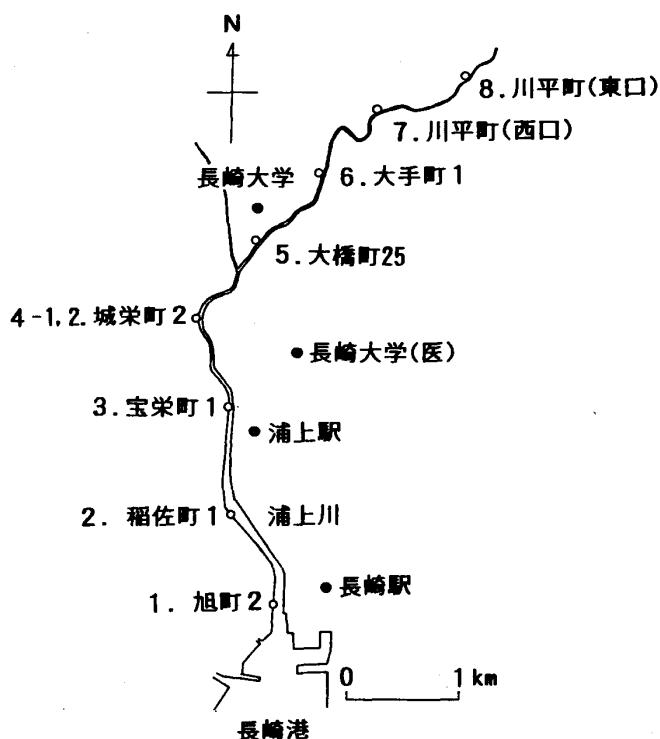


図1 試料設置地点等の概況図

表1 試料設置場所等の河川水の諸量測定結果

地番	町名	水温(°C)	流速(m/s)	pH	塩分濃度(%)
1	旭町2番地	16.3	0.03	8.0	2.3
2	稲佐町1番地	16.5	0.04	7.9	1.7
3	宝栄町1番地	16.3	0.07	7.7	1.4
4	城栄町2番地(4-1堰下)	15.8	0.09	7.6	1.4
	“ “ (4-2堰上)	16.1	0.11	7.7	0.2
5	大橋町25番地	9.9	0.06	8.0	0.0
6	大手1丁目	9.1	0.35	8.1	0.0
7	川平町(西口)	10.5	0.25	8.2	0.0
8	川平町(東口)	8.1	0.25	8.1	0.0

pHは、HANNA製ATC pH Meter, PICCOLOを用い、塩分濃度は積水化学工業製デジタル塩分計SS-31Aを用いて測定した。実験期間中の気象要素を観測した。快晴日数は26日間、晴日数41日間、曇日数25日間であった。この内、短時間の降雨があった日数は17日間であり何れの日も雨量は少なかった。長崎市では、降雨のpHは過去12年間の年平均値は4.8であり、酸性雨出現率は非常に高い³⁾。

以下、各環境中における実験方法を示す。

2.1. 大気中の腐食法

試料設置地点の川原において、各種金属試料片のそれぞれに水系を結び付けて地上高さ1～2mの空中に吊るした。電子天秤による質量測定は7日おきに実験室で行った。

2.2. 流水中の腐食法

各地点の河川水中において、各種金属試料片のそれぞれに水系を結び付けて水面下深さ約50cmの水中に浸漬した。質量測定は前項と同時に実験室で行った。試料面に生じた腐食生成物が水中で剥離する場合を考慮し、試料面の付着物または腐食生成物をブラシで落とした後、超音波洗浄器で洗浄した。

2.3. 静水中の腐食法

各地点の河川水をそれぞれのタンクに採取した。実験室において、各地点又は試料ごとに用意したスチロール樹脂容器に、採取した水(約350cc)を入れて、試料を浸漬した。この後、容器はラップフィルムで覆った。質量測定時には、試料に腐食生成物が生じ容器の水が変色したと認められるものについて、容器の底に落下した腐食生成物は濾紙で濾過を行い、濾過後に残る腐食生成物を含めて秤量した。質量測定の度に、当初採取した水を新たに容器に満たして実験を行った。

2.4. 土壌中の腐食法

各地点の河底土壌(以下「土壌」と略称する)を採取した。地番2～4-1の土壌は、濃灰色の沈泥及び粘土質であり、地番4-2では泥の中に細砂が多く含まれていた。地番5、6では粗砂から成り、地番7、8では砂礫から成る等の特徴がある。地番1では、水深が深いために土壌は採取していない。実験室において、各地点毎に用意したポリ容器に採取した土壌(約500cm³)と同地点の河川水を補充し試料を埋設した。この後、容器はラップフィルムで覆った。質量測定時には、試料面に付着した汚れや腐食生成物をブラシで落とした後、超音波洗浄した。

2.1.～2.4.の各環境中で試料を設置したときの様子の一例をそれぞれ図2(a)、(b)、(c)、(d)に示す。図2(e)は土壌(d)図)中で実験開始から70日間経過した質量測定時の試料を示す。質量測定は7日おきに約3か月間実施した。各試料の質量測定直前に、真空装置(日本電子製JEE-4B型)のベルジャに試料を入れて低真空度で約30分間脱気した。質量測定には電子精密天秤(HANSEN製HL-320N型)を用いた。

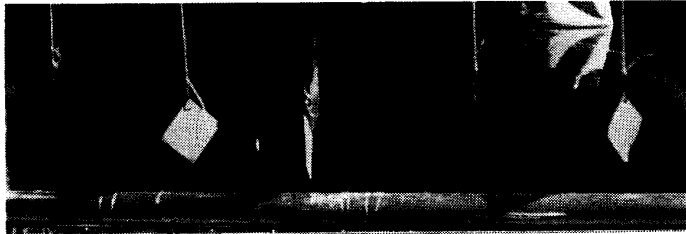
腐食実験に用いた金属試料の腐食量の変化をより明確にするため、次の方法⁴⁾によって質量変化と腐食度を表した。各環境中における質量変化は規格化された値 M_{sd} を式(1)を用いて求めた。

$$M_{sd} = M/M_0 \quad (1)$$

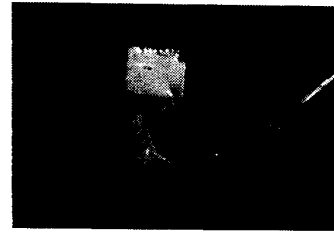
ここで、 M_0 は実験開始時の試料の質量[g]、 M は一定時間経過後の質量[g]である。各種金属試料の腐食度 R は式(2)を用いて求めた。

$$R = m / (a \times t) \tag{2}$$

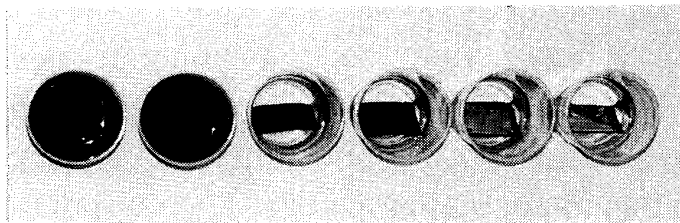
ここで、 m は質量変化値 [g]、 a はみかけの表面積 [m²]、 t は経過時間 [s] である。経過日数に対する質量比を図3～図22の各図(a)に示す。経過日数に対する腐食度を図3～図22の各図(b)に示す。座標の横軸は各図全て同一目盛であるが、縦軸の目盛の単位数は図により異なる。



(a) 大気中 (地番4の設置試料)



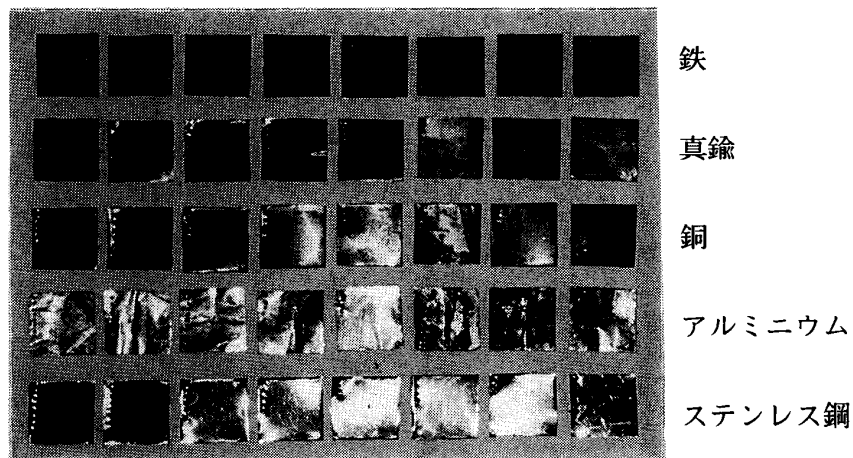
(b) 流水中 (地番4の設置試料)



(c) 静水中 (地番4で取水した浸漬試料)



(d) 土壌中 (各図は、右側から左側まで順次、地番2, 3, 4-1, 4-2, 5, 6, 7, 8の土壌である。)



(e) 土壌中埋設試料 (右列から左列まで順次、地番2, 3, 4-1, 4-2, 5, 6, 7, 8の土壌中に埋設した試料である。)

図2 試料の種類と設置状況

3. 実験結果と検討

3.1. 大気腐食

(1) 川岸の大気中に曝したときの鉄片の腐食模様の特徴は次のようである。下流域の地番1から4では、時間経過とともに腐食が進行し、試料設置後28日目で試料面が黒ずんだ腐食生成物に覆われた。上流域の地番5～8地点では、前述の試料に比べて腐食は進まず薄茶色の斑点状の腐食生成物が試料面を覆った。図3(a)に示す腐食による質量変化は地番2において最大であり、実験開始後70日目で5%に達する。図3(b)に示すように、下流域の地点では、7日目から腐食度が増大したが、28日目以後は増加傾向は次第に緩やかになった。それぞれ35日目または42日、52日目に腐食度のピークがある。地番2では、腐食度が最大約 $1.4 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ である。上流域の地点での腐食度は前者に比べて小さい。

(2) 全地点においてステンレス鋼片の金属光沢は消失せず、腐食模様は見られない。図4(a)は質量変化が前項(1)の1/10以下であることを示す。図4(b)に示すように、下流域の地点では42日目に小さなピークがある。全地点において腐食度は $0.1 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 以下である。

(3) 上流域の地点では、銅片の光沢は比較的長く保持されるが、下流域では14日目から光沢が失われ始め黄ばみ又は赤茶けた色を呈した。地番1及び4-1、5で7日目に、6で14日目に緑青が生じた。図5(a)は質量変化が0.4%以下を示す。図5(b)に示すように、銅の腐食度は $0.20 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 以下である。下流域の地点では42日目に腐食度のピークがある。このピークを過ぎる頃から試料面は急に光沢を失いくすんだ赤茶色を呈した。

(4) 上流域の地点では、真鍮片の光沢は比較的長く保持されるが、下流域では14日から光沢が消失しくすんだ色を呈した。図6(a)は質量変化が0.4%以下を示す。図6(b)に示すように、腐食度は $0.25 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 以下である。

(5) 上流域の地点では、アルミニウム片の光沢は消失していないが、下流域では、21日目から光沢が薄れ始め白味がかかった色を呈した。図7(a)は質量変化が1.3%に達するものがみられるが大多数は0.2%以下である。図7(b)に示すように、全地点において腐食度は殆ど $0.1 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 以下である。

実験室の乾燥空気中に置いた鉄片の腐食模様または腐食量はごく僅かな変化であるのに対して、川岸沿いに置いたものは腐食模様または腐食量の変化が顕著であった。上流域のものに比べて鉄片の腐食度は下流域において上回る。銅、真鍮、アルミニウムの各試料について上流域に比べて下流域では光沢が早めに消失しているが、腐食量が僅少なので地点別の腐食度の差異は明瞭でない。鉄鋼の腐食度が一義的に海塩粒子濃度に依存することは既に報告されている⁵⁾。近年、排気ガス中に含まれる SO_x 、 NO_x に起因する酸性雨が大気腐食の立場からも無視できない状況になっている。長崎市においてもこれらの大気汚染物質について常時観測されている⁶⁾。 SO_x 、 NO_x 、SPM、オキシダント等の測定は環境基準値を満たしている。また、交通量調査によれば、幹線道路の交通量は昼間12時間で場所により3～6万台に達する。浦上川のどの地点も交通量の多い幹線道路に近い。上流域には海水は流入しないが、下流域は汽水域であるとともに汚染泥土が集積している。その地域大気の腐食性を高めたものとして、空気中に浮遊する海塩粒子が結露時に水滴に溶け込むことにより腐食が促進されることも一つの要因であると考えられる。

試料の質量変化と腐食度の変化

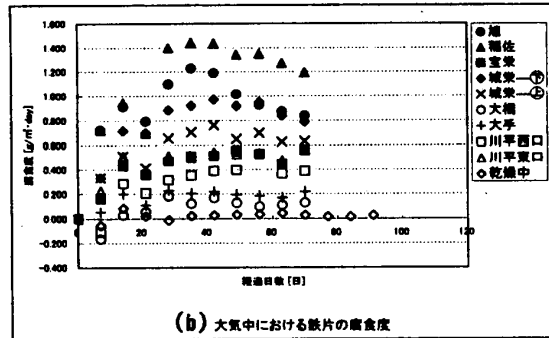
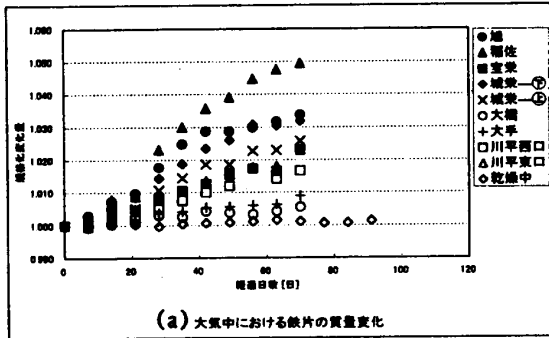


図3 鉄

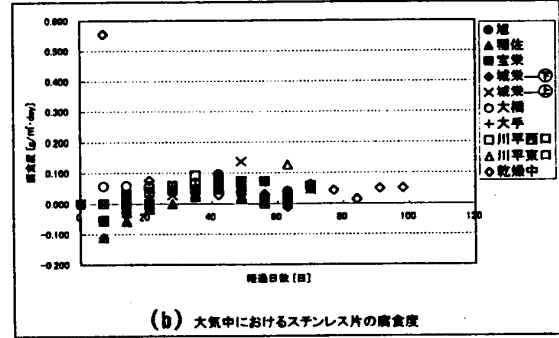
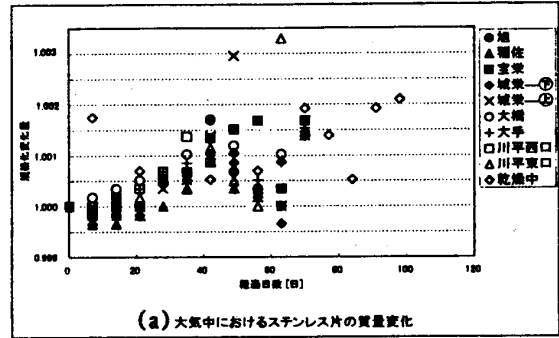


図4 ステンレス鋼

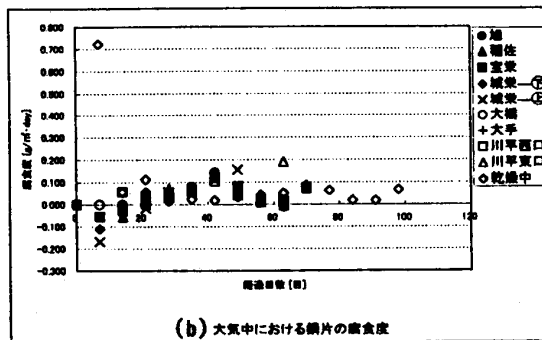
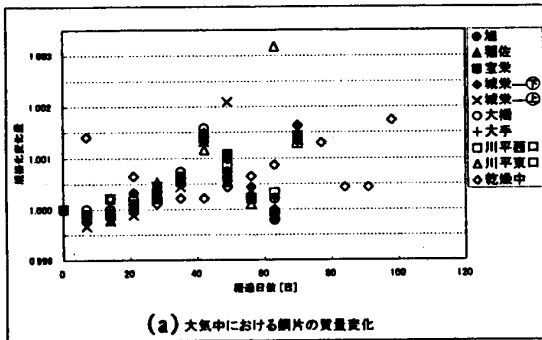


図5 銅

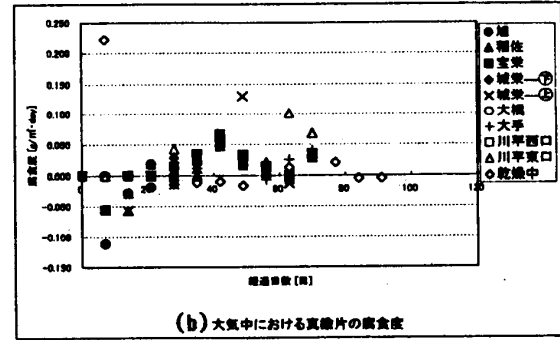
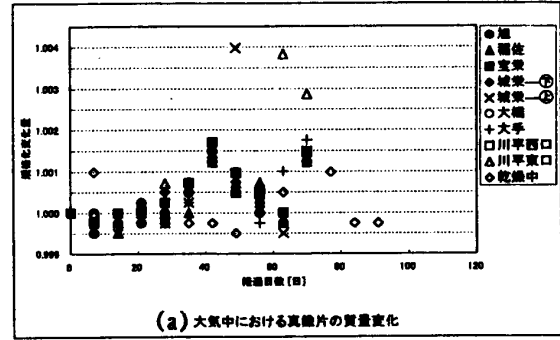


図6 真鍮

3.2. 流水腐食

(1) 上流域の地点では、7日目に鉄片に斑点状の赤い腐食生成物が生じ、その後赤褐色の腐食生成物が試料全面に広がった。下流域では、7日目で試料全面が黒ずんだ腐食生成物に覆われた。腐食が急速に進行し損傷が大きい。地番2、3、4-1の試料は腐食がひどく約1か月後には水系から外れて流失した。図8(a)に示すように、下流域では初期の段階で質量減少は約10%に達する。その後、地番1では質量減少は最大約40%に達する。図8(b)に示す腐食度は、地番1、3、4-1で初期の段階で大きな値を示す。腐食度は4-1地点で最大値約25 g/m²・dayが得られた。腐食度が大きい順に地番4-1、2、3、1、8、7、6、5、4-2である。大気腐食に比べて腐食度はそれぞれ地番2で34倍、地番4-1で13倍、地番1で10倍である。下流域での腐食度が上流域に比べて大きいことがわかる。

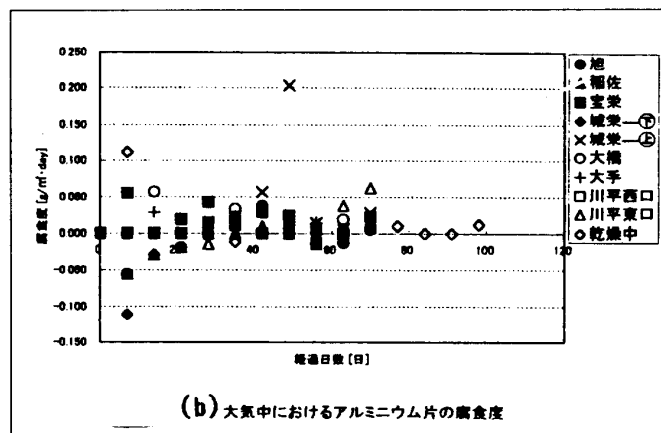
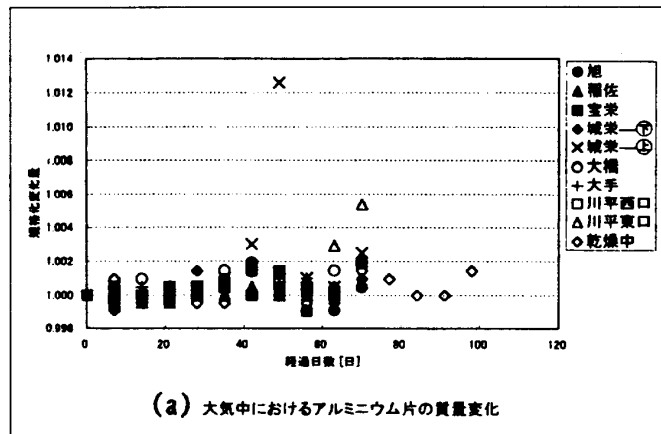


図7 アルミニウム

(2) 地番1のステンレス鋼片では、試料の縁の部分または傷のある部分が僅かばかり腐食して茶色を呈した。他の地点の試料では光沢は消失せず腐食模様は見られない。図9(a)に示す質量変化は0.3%以下である。図9(b)に示すように、初期に腐食度が大きく、地番5、3、4-2、1、8の順である。前項(1)に比べて腐食度は数十分の一である。

(3) 上流域の地点では、14日目から銅片の光沢が失われ黒みがかかった色に変わった。下流域では、7日目に試料の色が黄ばみ、その後オレンジ色又は赤みがかかった色を呈した。地番1、2、3、4-1では7日目で緑青が生じた。図10(a)に示すように、地番1では質量変化が最大であり略比例して増加し約8%に達している。次いで地番2、4-1がそれぞれ約3%、約1%である。図10(b)に示すように、地番1の腐食度は初期段階から最大値約5 g/m²・dayを維持している。次いで地番2、3、4-1の順である。

(4) 上流域の地点では、7日目に真鍮片の光沢が失われ青紫色を呈し、最後には黒い色を呈した。下流域では、7日目から光沢が失われ白みを帯びた色を呈した。その後地番4では白い色が残るが、地番1、2、3では黄ばんだ色を呈した。図11(a)に示すように、質量変化は地番1で最大であり約8%に達する。次いで4-1、2が約3%である。図11(b)に示すように、腐食度は地番1で最大値約4.5 g/m²・dayである。次いで地番4-1、2の順である。前項(3)と同様に下流域での試料の腐食が促進されている。

(5) 上流域の地点では、アルミニウム片の光沢の変化は生じなかった。下流域では7日目に光沢が消失し、その後白い斑点が生じた。図12(a)に示すように、質量変化は1.8%以下である。図12(b)に示すように、地番1では腐食度が最大値0.8 g/m²・dayである。

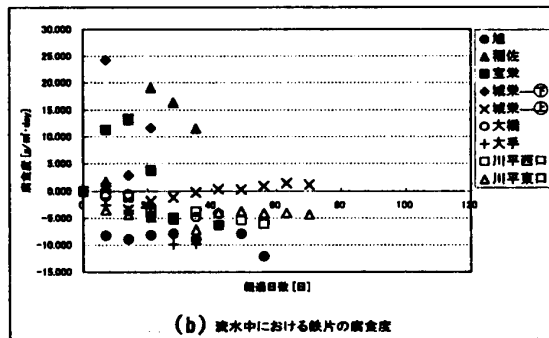
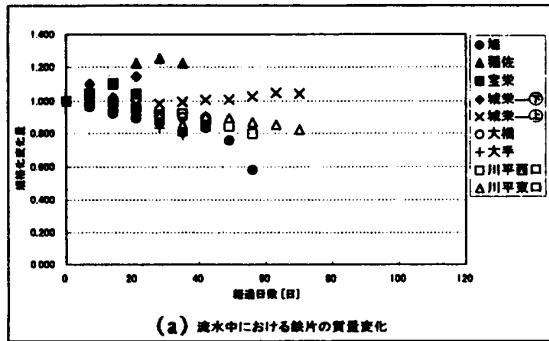


図8 鉄

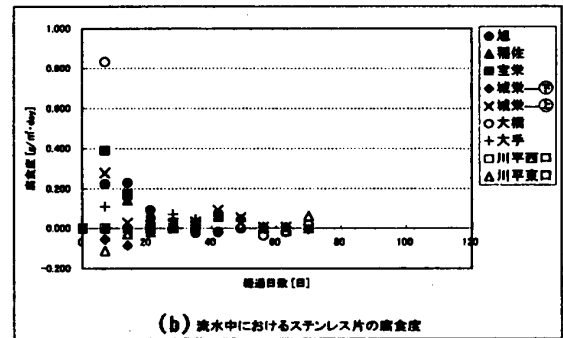
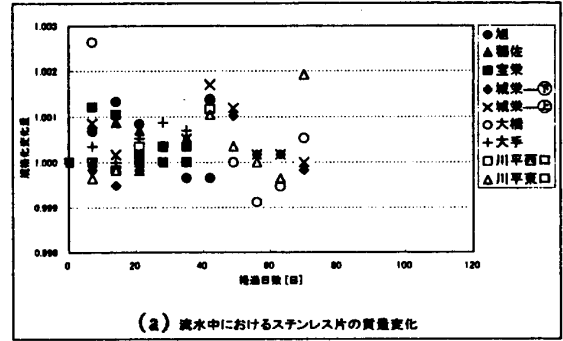


図9 ステンレス鋼

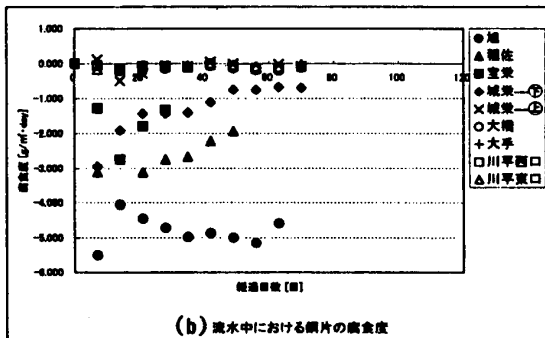
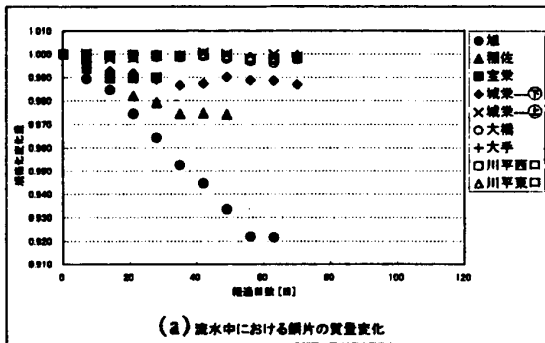


図10 銅

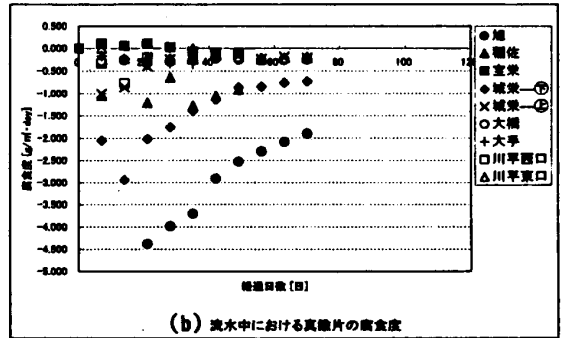
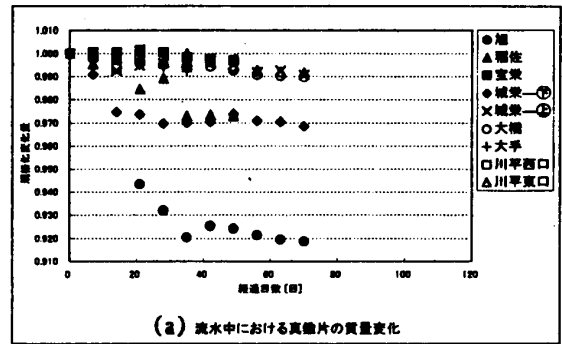


図11 真鍮

地番 1、3、4 での腐食度が大きい。

浦上川の水質測定結果³⁾によれば、pH は環境基準の6.5以上8.5以下の基準内にあり、弱アルカリ性である。水中のDO（溶存酸素）は通常の腐食でよく見られる酸素還元反応の単体酸化剤である。このことを考慮すれば、河川のDO値が大きい観測点、川平取水堰（DO平均値9.5mg/L）付近に置いた金属試料の腐食度が大きく、DO値の低い下流域の観測点、梁川橋（DO平均値5.4 mg/L）付近に置いた試料の腐食度は小さいはずである。だが、本実験の結果はそのようではない。因って、その他の要因が関係しているように考えられる。水中のBOD（生物化学的酸素要求量）、及びCOD（化学的酸素要求量）の数値が大きい程河川の汚濁の程度が高いことを表す。特に、大橋堰付近付近は、東西方向からの生活排水が合流する所であり、水質汚濁の程度（BOD平均値8.7 mg/L）が最大である。

川平取水堰（BOD平均値0.8 mg/L）、梁川橋（BOD平均値1.3 mg/L）である。流水中の鉄片の腐食度は、これらの近傍の地番4、3、2において大きい数値を示す。水質汚濁物質中では嫌気性微生物が優位となり、生活排水等の汚れを分解して悪臭の基になる硫化水素を発生させることが知られている。この硫化水素は腐食促進物質に挙げられている。

筆者らの実験期間中7日おきの観察によって、上流域に比べて下流域の汚濁の程度が高く動植物の生息状況が良くないこと、及び悪臭もかなり発生していることを確認した。前出の測定資料³⁾によれば、塩素イオンは下流の汽水域の地点ほど大きい数値を示している。上流域の淡水中の約800倍である。海水成分には多くの塩分が溶解し金属の腐食促進物質である。塩分が検出される下流域では鉄片の腐食度が大きい数値を示しているので、その影響は十分に考えられる。銅や真鍮は海水中で保護皮膜を生成するので腐食の進行が抑制されることが分かっているが、下流域では腐食度がかなり大きい数値を示している。このことは、河川水に含まれる汚濁物質の影響が結果に強く反映されものと考えられる。

3.3. 静水腐食

(1) 水溶液を濾過後濾紙上に観察された鉄片の腐食生成物の色は、下流域の地番1、2等で採取した水中で生じたものに比べて、上流域の地番5、6で採取した水中で生じたものは赤みが強い色を呈した。時間経過につれて全地点で鉄片の光沢は消失し、黒い腐食生成物で覆われた。所謂、鉄の赤錆或いは浮き錆となって析出するという状態が繰り返し観察された。図13 (a) に示すように、質量変化はどの地点の水に対しても増加した。質量増加は地番1において最大値約22%である。質量変化の大きい順に、地番1、3、2、4-1、5、

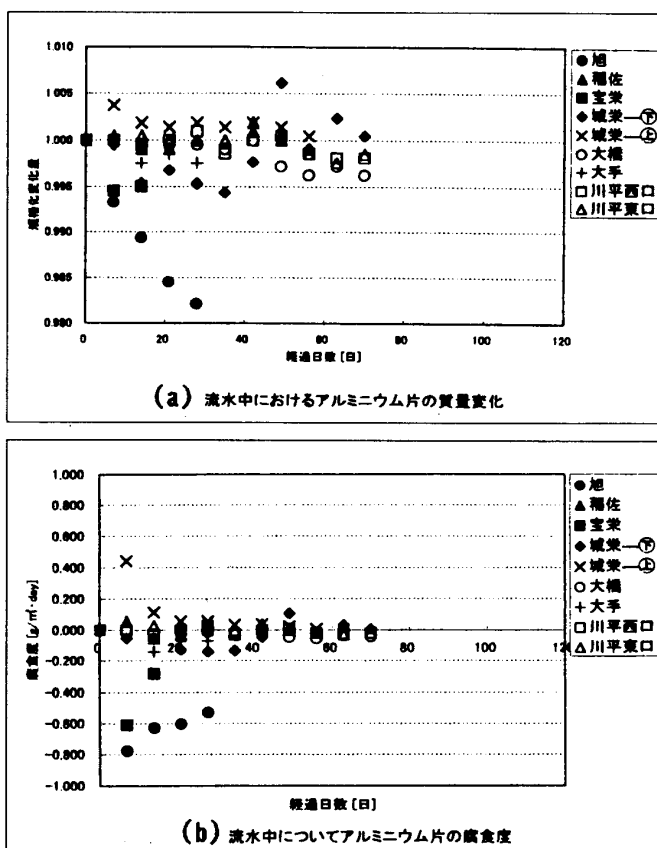
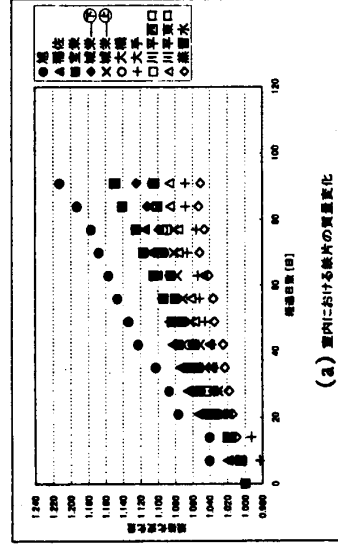
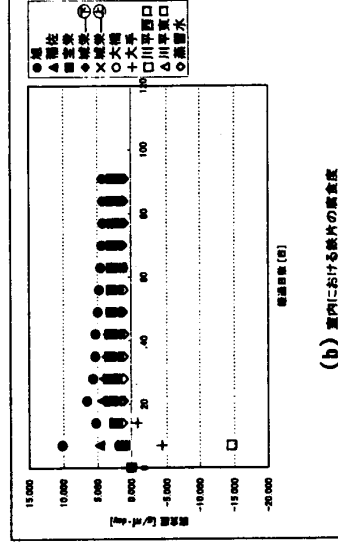


図12 アルミニウム

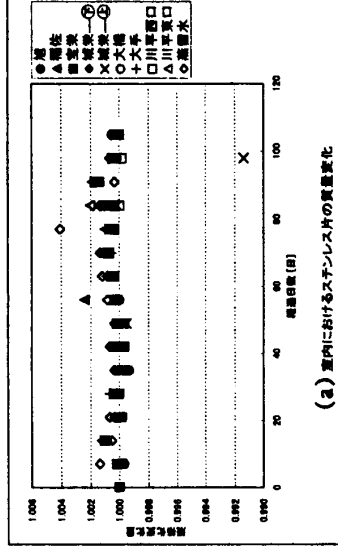


(a) 室内における鉄片の質量変化

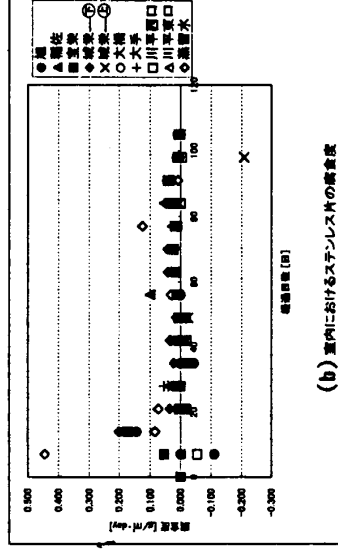


(b) 室内における鉄片の質量変化

図13 鉄

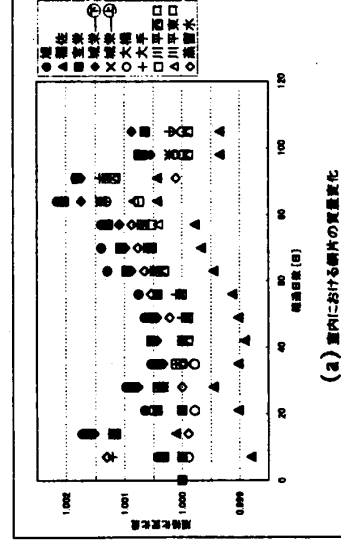


(a) 室内におけるステンレス片の質量変化

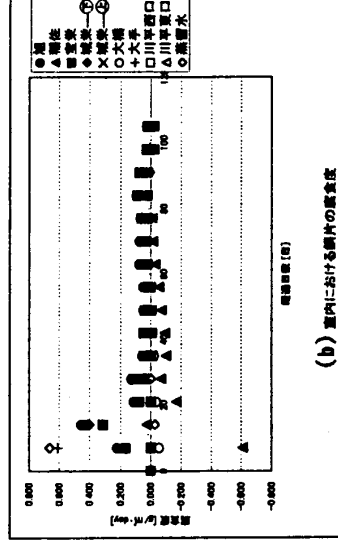


(b) 室内におけるステンレス片の質量変化

図14 ステンレス

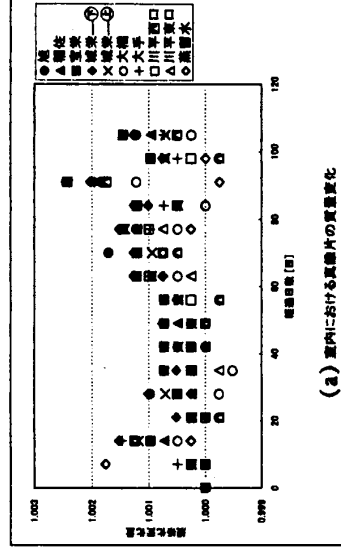


(a) 室内における銅片の質量変化

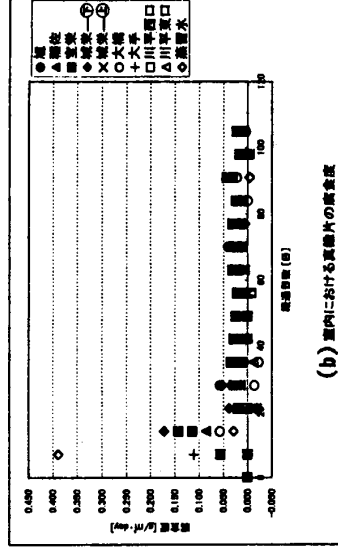


(b) 室内における銅片の質量変化

図15 銅



(a) 室内における真鍮片の質量変化



(b) 室内における真鍮片の質量変化

図16 真鍮

4-2、7、8、6、蒸留水中である。図13 (b) に腐食度を示す。地番1、2で採取した水中では、7日目に腐食度は最大値10 g/m²・dayを示すが、それ以降は安定した数値を示す。蒸留水に浸漬した試料では、他の試料に比して腐食度は最小である。21日目を過ぎる頃からどの地点の水中でも腐食度は0~5 g/m²・dayの範囲で安定している。上流の地番8から下流の地番1の順に従い腐食度は僅かずつ大きくなる。

(2) 図14 (a) に示すステンレス鋼片の質量変化は0.4%以下である。図14 (b) に示すように、蒸留水では7日目で腐食度がピークに達したが、河川水では14日目に全地点で腐食度0.14~0.20 g/m²・dayの範囲にピークがある。

(3) 地番1~4-1の銅片は赤銅色に変わり、91日目で緑青が生じた。地番4-2~8の試料は光沢がくすんだような色を呈した。図15 (a) に示すように、どの地点も7日目または14日目にピークがあるが再び84日目にピークがある。質量変化は0.2%以下である。図15 (b) に示すように、どの地点も7日目または14日目に腐食度0.3~0.7 g/m²・dayの範囲でピークに達する。その後は小幅な変化を示す。

(4) 図16 (a) に示す真鍮片の質量変化は0.25%以下である。図16 (b) は腐食度について14日目までは0.4 g/m²・day、それ以後は0.05 g/m²・dayの変化を示す。前項(2)の図15と図16の曲線は類似している。試料はCu-30% Zn合金であり純Cuに類似した腐食性を示したと考えられる。

(5) 図17 (a) に示すアルミニウム片の質量変化は0.8%以下である。図17 (b) の腐食度は0.15 g/m²・day以下である。

蒸留水中での鉄片の腐食度は全期間にわたり最小値を示している。前項3.2.の流水中の腐食に比べて、静水中におけるそれぞれの腐食度は鉄片及びステンレス鋼片では1/2以下、銅片及び真鍮片では1/10以下、アルミニウム片では1/5以下である。流水中における流速の上昇に伴う腐食の加速現象が腐食度を大きくしたものと考えられる。

3.4. 土壌腐食

(1) 上流域で採取した土壌中では、鉄片の光沢は最後まで残るが斑点状の腐食生成物の色は時間経過につれて黄土色から次第に黒ずんだ色又はビリジアン色を呈した。上流域の土壌では、試料は直ぐに光沢を失い、黄色またはオレンジ色の腐食生成物が生じた。図18 (a) に示すように、地番8及び4-2では質量減少はそれぞれ8%、10%に達する。図18 (b) に示すように、腐食度は地番4-2を除いて7日目にピークがある。地番3において最大値5.3 g/m²・dayである。その後、腐食度は減少を続け28日目頃から地点毎に安定した数値を示し

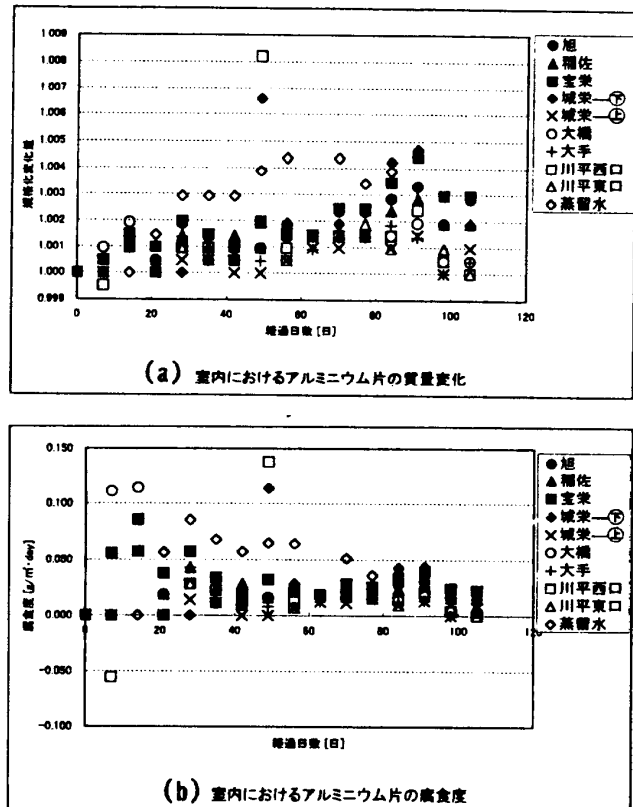


図17 アルミニウム

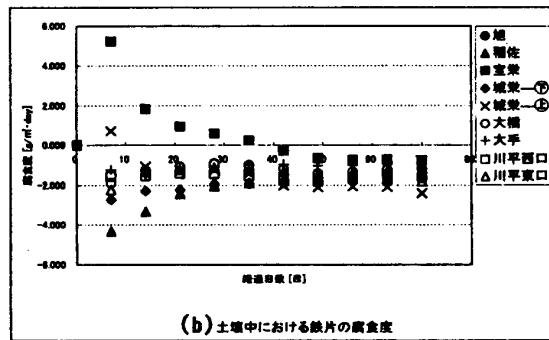
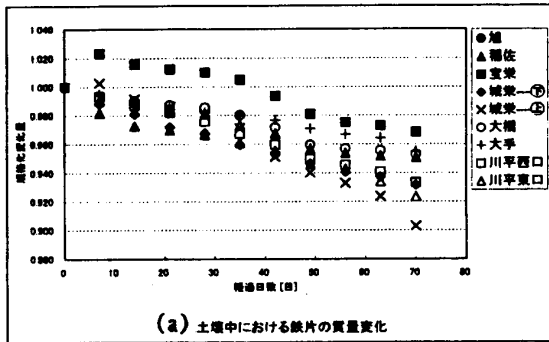


図18 鉄

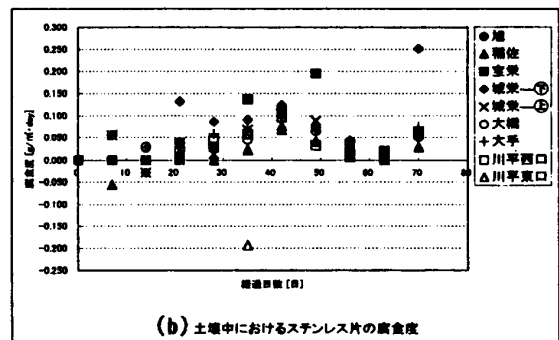
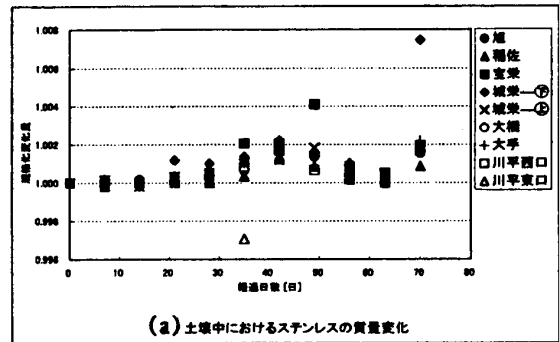


図19 ステンレス

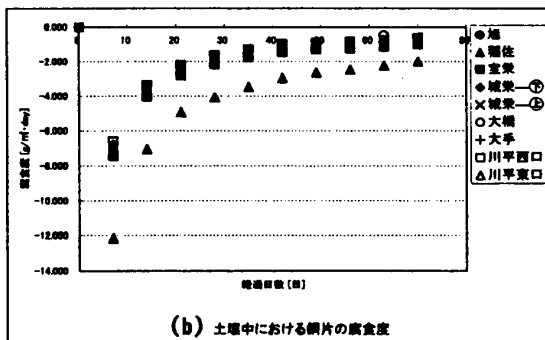
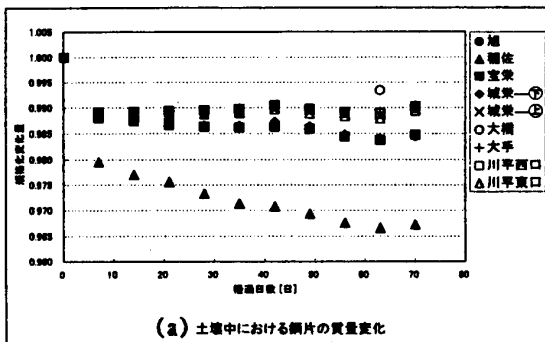


図20 銅

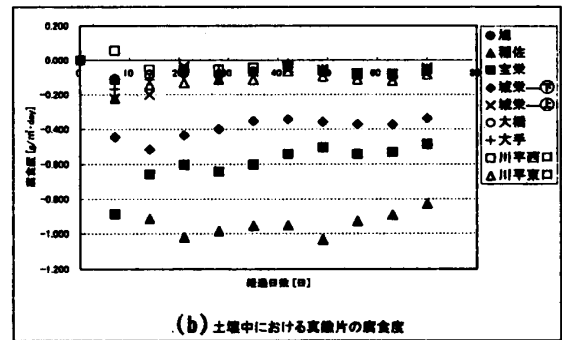
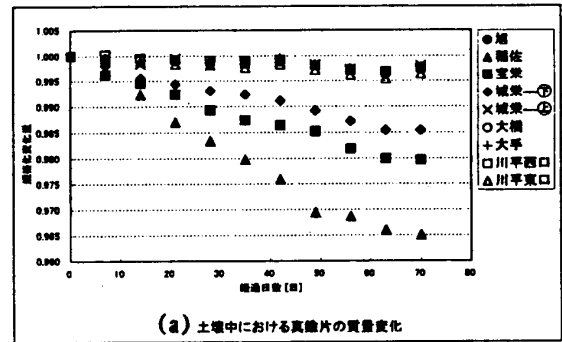


図21 真鍮

ている。腐食度の大きい順に地番3、2、4-1、4-2、8、5、7、6である。下流域の地点において腐食度が大きいことが分かる。

(2) 上流域のものでは、ステンレス鋼片の光沢の変化は生じなかった。下流域のものでは、試料面に油膜が張ったような模様が生じた。図19 (a) は質量変化が0.75%以下を示す。図19 (b) は地番4-1で腐食度が最大0.25 g/m²・dayである。

(3) 地番4～8では14日目頃から銅片の光沢が消失する。地番2、3では初期から変色が始まり赤茶色を呈した。図20 (a) に示すように、質量変化は7日目で全地点において1%以上急減したが、その後、最終的に地番2では約3.5%まで徐々に減少するが、他地点では0.5%以下の僅かな減少である。図20 (b) は全地点で7日目に最大の腐食度を示す。地番2では腐食度の最大値12 g/m²・dayを示す。

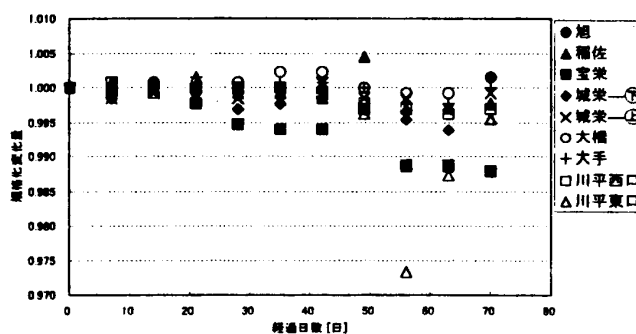
(4) 上流域のものでは、真鍮片は紫色または黒ずんだ色を呈した。下流域のものでは、くすんだ薄い黄色を呈し、中でも地番4-1では黒ずんだ色を呈した。図21 (a) に示すように、全地点で質量は減少する。質量減少が大きい順に地番2、3、4-1である。それ以外の地点については0.5%以下である。図21 (b) に示すように、腐食度が大きい順に地番2、3、4-1であるが7日目以降は安定した数値を示す。

(5) 上流域のものでは、アルミニウム片の光沢の変化は生じなかった。下流域のものでは白味を呈した。図22 (a) に示すように、質量変化は3%以下である。図22 (b) に示す腐食度は地番3がやや大きい数値を示している。

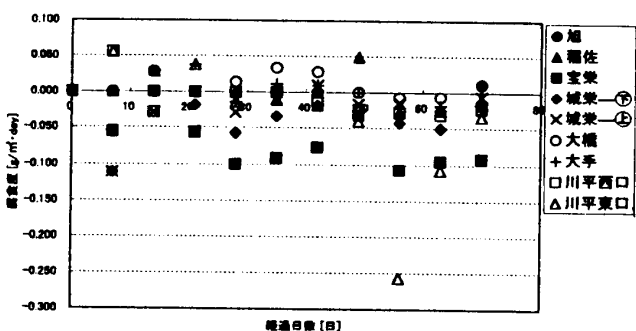
土壌中には多くの微生物が存在しており、有機物の分解や物質循環の作用を営んでいる。また、河川の底質土壌はその河川の水質の影響を受けており嫌気性微生物の硫黄細菌は全ての天然水域に存在することが知られている。更に、水のBOD値が大きい場所では好気性微生物が多く存在することが考えられる。本実験の結果は、上流域に比べて下流域での腐食度が大きいことを示す。

本市内を流れる浦上川流域と中島川流域における1996年度の下水道整備状況、及び水質改善状況を比較した場合、前者は下水道普及率56.6%のとき観測点大橋堰におけるBOD年平均値は8.7mg/Lであるのに対し、後者は87.0%のとき1.7mg/Lである。下水道普及率の上昇に伴って河川のBOD値は低下傾向にあるが浦上川の場合は早急な水質改善が望まれる。

大気、流水、静水、土壌の何れの環境中においても、鉄の腐食度はステンレス鋼、銅、真鍮、アルミニウムに比べて最も大きいといえる。腐食度の順位は鉄、銅、真鍮、アルミニウム、ステンレス鋼である。銅と真鍮が略同程度、次いでアルミニウムとステンレス鋼



(a) 土壌中におけるアルミニウム片の質量変化



(b) 土壌中におけるアルミニウム片の腐食度

図22 アルミニウム

が略同程度である。腐食は金属が陽イオンとして溶液中に溶出する現象である。一般に電気化学列で貴な電位をもつ金属は耐食性が良好な場合が多いことが知られている。アルミニウムは電位からみれば耐食性が悪いように思われるが、河川環境中で良好な耐食性を示している。その理由は、ステンレス鋼と同じく表面が極薄の酸化膜で覆われ不働態化したことによる。様々な環境因子がある中で金属腐食の原因を特定することは難しいが、主として水と酸素による穏やかな酸化である。河川を取り巻く都市環境は様々な汚染物質の人為的な発生源である。このような物質が金属に付着することにより腐食は非常に促進されるものと考えられる。

4. おわりに

浦上川水域の河川環境の特性が身の回りで使用されている金属材料の特性に及ぼす影響について調べた結果、次に示す結論を得た。

浦上川の下流域は上流域に比べて本実験で用いた金属材料にとって腐食性の強い環境である。河口に近いほどこの傾向が強いようである。大気中では、鉄が最も腐食され易い。流水中では、鉄が最も腐食され易く、この時の腐食度は最大値約 $3 \times 10^{-7} \text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ が得られた。次いで銅、及び真鍮が同程度に腐食され易い。静水中では、鉄が腐食され易い。土壌中では、銅、及び鉄が同程度に腐食され易い。ステンレス鋼、アルミニウムについては、それぞれの雰囲気中で腐食度 $0.1 \times 10^{-7} \text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 以下の数値を示しており、何れも腐食され難い。中でもステンレス鋼が最も耐食性があるといえる。

本教材の利点としては、次のような点が挙げられる。実験に高価な材料、機器や高度な技術を必要としないこと。季節、場所を選ばずに身近な自然の中で容易に調べられること。色々な発見・気づきなどが期待できること等であり、生徒達の環境教育にはきわめて有効で、腐食環境を身近な自然現象の一つとして認識を深め、自然環境の保全・創造への意欲を高めて行くものと思われる。

参考文献

- 1) 村川雅弘、小林毅夫共編：小学校学習指導要領の展開 総合的学習編（明治図書、1999）86.
- 2) 江田 稔、三輪洋次編著：中学校学習指導要領の展開 理科編（明治図書、1999）94.
- 3) 長崎市環境部環境保全課編：環境保全行政（平成10年度版）（1999）141.
- 4) 橋口隆吉編：金属学ハンドブック（朝倉書店、1969）251.
- 5) 小若正倫他：住友金属、19（1967）53.
- 6) 柴田和信、上野康成、村上正文、堤 俊明：長崎県衛生公害研究所報（1997）43.