

## コンプレキサンによる重金属の毒性緩和 及び除去性に関する基礎的研究 第2報

低濃度の重金属 (Cd, Cu) 水における  
水生動物へのこれら重金属の集積及び  
毒性に対するコンプレキサンの影響

村 本 茂 樹

工場、家庭などの排水中に含まれる重金属は水生動植物へ移行し、濃縮が行なわれる。なかでも魚類は直接人間の食に供されるため、農作物と同様に人間の健康に係る問題として近年重要な課題<sup>1,2)</sup>となった。重金属は蓄積作用のみならず、魚類の斃死を惹起した事例も多く、生物に対する金属毒性も見逃せない問題である。

そこで金属高濃度、短期間暴露時における魚類に対する金属毒性および集積性に及ぼすコンプレキサン共存時の影響を検討し、報告<sup>3)</sup>した。これは従来<sup>4)</sup>の金属毒性、蓄積性の研究<sup>4)</sup>では明確にされなかった金属種別の魚体内集積部位の差異および環境水中に共存するコンプレキサンによるこれらへの影響について知見を得ようとしたものである。

重金属として、Cu, Cd を用い、コンプレキサンとしては EDTA, DTPA を用いて、比較的低濃度（致死濃度の 1/10）で、長期間（3 カ月間）の稚鯉飼育実験を行なった結果について述べる。

本研究に当たり、終始ご指導を頂いた岡山大学名誉教授 小林 純博士に感謝すると同時に、飼育管理を担当して頂いた愛知県水産試験場戸倉正人技師ならびに、実験に当たり資料の提供を頂いた帝国化学産業株式会社 松崎 実、辻章両氏に心よりお礼申し上げる。

### 材料および方法

#### 供試魚および飼育法

供試魚としては体長 7~9 cm、体重 10~12 g の稚鯉 (*Cyprinus carpio* L.) 各 10 尾を 60 l 容ガラス水槽（愛知県水産試験場）中で飼育した。重金属として、Cu ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) および Cd ( $\text{CdCl}_2 \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) を用い、0.01, 0.05, 0.1 mg/l の 3 区と、これに 2 種類のコンプレキサン (EDTA, DTPA) を各金属の 3 倍モル量添加した添加区、コンプレキサン単独区 (2 区) および対照区 (2 区) の計 24 実験区である。飼育水は水道水（水質は前報<sup>3)</sup>に示したと同様）を大水槽に入れ、使用前 3 日間エアレーションした。換水は 1 週に 1 度、投餌は日本配合飼料 KK 製、養鯉用 No. 4 飼料 (Cd 0.05  $\mu\text{g/g}$  以下, Cu 0.5  $\mu\text{g/g}$  以下) を用い、隔日に行なった。飼育水温は全期間を通じ、18.5~21°C

であった。

### 分析 方法

所定の金属濃度およびコンプレキサン添加区で3カ月間飼育後、前報<sup>9)</sup>と同一方法で、CuとCd含有量を測定した。飼育途中での斃死魚は死後直ちに体表面を蒸留水で洗浄後、ポリエチレン袋に入れ、-20°C冷凍庫に保存し、試料調製時に解氷し分析に供した。なお、奇型魚のX線写真撮影は、SOFTEX(日本ソフテックス社製)を用い、骨格撮影を行なった。

## 結 果 と 考 察

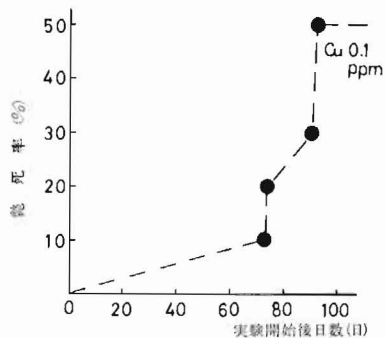
### 1. 水中重金属濃度と斃死率および催奇形成性との関係

所定金属濃度区での3カ月間(100日)生存魚数、途中斃死魚数および魚体の灰重/乾燥重比(%)を第1表に示した。また、Cu、Cd区における斃死魚出現率推移を第1図、

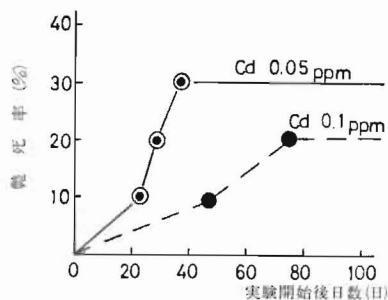
第1表 金属単独及びコンプレキサン添加時における斃死魚数、平均生体重、平均全体長、灰重/乾燥重(%)比較

| 金<br>属                               | 処 理 区<br>(ppm)    | pH  | 3カ月間<br>飼育時の<br>生存魚<br>斃死魚数 |             | 平均全体<br>長(3カ<br>月間生<br>存魚)<br>cm | 平均生体<br>重(3カ<br>月間生<br>存魚)<br>g | 灰重/乾燥重(%)           |                        |                        |
|--------------------------------------|-------------------|-----|-----------------------------|-------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
|                                      |                   |     | 斃<br>死<br>数                 | 生<br>存<br>数 |                                  |                                 | 内 臓                 | え ら                    | そ の 他                  |
|                                      |                   |     |                             |             |                                  |                                 |                     |                        |                        |
| CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O | Cu 0.01           | 7.1 | 0                           | 10          | 7.0                              | 10.1                            | 6.2                 | 13.3                   | 18.4                   |
|                                      | Cu 0.01+EDTA 0.21 | 7.1 | 0                           | 10          | 6.1                              | 9.5                             | 6.4                 | 16.5                   | 19.4                   |
|                                      | Cu 0.01+DTPA 0.23 | 7.3 | 0                           | 10          | 6.8                              | 9.5                             | 6.7                 | 14.3                   | 21.7                   |
|                                      | Cu 0.05           | 7.0 | 0                           | 10          | 6.3                              | 7.2                             | 7.7                 | 13.7                   | 17.9                   |
|                                      | Cu 0.05+EDTA 1.04 | 7.2 | 0                           | 10          | 6.5                              | 8.8                             | 6.0                 | 16.3                   | 16.8                   |
|                                      | Cu 0.05+DTPA 1.16 | 7.3 | 0                           | 10          | 6.6                              | 9.5                             | 6.6                 | 14.1                   | 16.2                   |
|                                      | Cu 0.1            | 6.8 | 5                           | 5           | 6.5                              | 7.6                             | 8.8(8.8)            | 15.8(16.2)             | 16.7(23.3)             |
|                                      | Cu 0.1+EDTA 2.1   | 7.3 | 0                           | 10          | 6.6                              | 8.3                             | 6.8                 | 13.5                   | 16.7                   |
|                                      | Cu 0.1+DTPA 2.3   | 7.3 | 0                           | 10          | 6.8                              | 9.5                             | 6.2                 | 13.6                   | 13.0                   |
| CdCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O | Cd 0.01           | 7.1 | 0                           | 10(1)       | 6.3                              | 7.2                             | 6.1((6.6))          | 11.9((12.1))           | 13.8((10.7))           |
|                                      | Cd 0.01+EDTA 0.12 | 7.1 | 0                           | 10          | 6.7                              | 9.2                             | 6.4                 | 14.8                   | 16.8                   |
|                                      | Cd 0.01+DTPA 0.13 | 7.3 | 0                           | 10          | 6.6                              | 9.0                             | 6.0                 | 15.2                   | 19.4                   |
|                                      | Cd 0.05           | 7.0 | 3                           | 7(1)        | 7.3                              | 10.9                            | 6.2((6.9))<br>(5.4) | 10.6((24.1))<br>(10.5) | 20.8((27.1))<br>(10.0) |
|                                      | Cd 0.05+EDTA 0.60 | 7.2 | 1                           | 9           | 7.4                              | 9.4                             | 6.9(7.2)            | 14.1(20.5)             | 17.1(22.2)             |
|                                      | Cd 0.05+DTPA 0.67 | 7.4 | 1                           | 9           | 7.0                              | 10.5                            | 6.4(6.6)            | 14.4(19.6)             | 17.9(19.1)             |
|                                      | Cd 0.1            | 7.2 | 2                           | 8(1)        | 7.0                              | 10.3                            | 7.2((5.6))<br>(4.6) | 12.7((12.7))<br>(8.1)  | 16.7((20.0))<br>(5.0)  |
|                                      | Cd 0.1+EDTA 1.2   | 7.3 | 1                           | 9           | 6.9                              | 9.8                             | 6.6(6.4)            | 11.1(19.0)             | 15.4(18.9)             |
|                                      | Cd 0.1+DTPA 1.3   | 7.5 | 0                           | 10          | 6.9                              | 9.6                             | 6.9                 | 12.0                   | 9.1                    |
|                                      | EDTA 2.1          | 7.1 | 0                           | 10          | 6.8                              | 8.9                             | 6.5                 | 14.9                   | 14.7                   |
| DTPA 2.3                             | 7.2               | 0   | 10                          | 6.6         | 9.4                              | 6.8                             | 14.3                | 19.4                   |                        |
| Control                              | 7.0               | 0   | 10                          | 6.7         | 9.3                              | 6.7                             | 13.6                | 18.0                   |                        |

( ): 斃死魚, (( )): 奇形魚の値を示す



第1図 CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 暴露時の死亡率(%) 推移



第2図 CdCl<sub>2</sub>·2½H<sub>2</sub>O 暴露時の死亡率(%) 推移

第2図に示した。これより、Cu 区では、Cu 単独の場合、Cu 0.01 ppm, 0.05 ppm においては斃死魚は出現せず全供試魚の生存が認められた。しかし、Cu 0.1 ppm の斃死率は日数経過に伴ない漸増傾向にあり、93日目に50%に達した。これに対し、コンプレキサン共存時には、EDTA, DTPA のいずれの場合も、斃死魚は全飼育期間を通じ出現せず、Cu 金属毒性の低減現象がみられた。

また、Cd 区においては、Cd 0.01 ppm 区では斃死魚は出現しなかったが、Cd 0.05 ppm 区では実験開始後24日目に10%、37日目に30%、Cd 0.1 ppm 区では76日目に20%の斃死率を示した。一方、コンプレキサン共存の場合、Cd 0.05 ppm + DTPA 区で26日目に、Cd 0.05 ppm + EDTA 区では48日目に、また Cd 0.1 ppm + EDTA 区では36日目に、それぞれ10% 斃死率を示したが、これらコンプレキサン添加区の斃死魚は共通して金属集積量が低く、金属単独区の斃死因とは明らかに相違すると考えられる。

また 特異現象として背曲がりによる奇形魚が Cd 0.01 ppm, 0.05 ppm, 0.1 ppm の Cd 単独区に各1尾出現した。これについては後述する。

## 2. 水中 Cd, Cu 濃度と魚体各部位中金属含有量との関係

金属単独およびコンプレキサン添加処理における3カ月間飼育後の魚体各部位中金属含有量(灰中 μg/g) 分析結果を第2表に示した。これより、金属添加区は対照魚(水道水で飼育)に比し、内臓、えら、その他の各部位において、Cd, Cu のいずれの金属も、前報<sup>3)</sup>の金属高濃度・短期間(48時間)暴露時と同様、金属低濃度・長期間(3カ月間)暴露においても水中濃度の増大に比例して、体内金属は集積傾向にあることが認められた。飼育水中金属濃度と魚体各部位中金属含有量との関係を第3図、第4図に示し、それらの相関関係を第3表に示した。実験開始時の魚体灰中 Cu 含有量は内臓 75~118 μg/g、えら 20~42 μg/g、その他 19~31 μg/g であり、Cd 含有量は内臓 2.2~3.7 μg/g、えら 1.6~3.0 μg/g、その他 0.2~0.8 μg/g であった。したがって、水道水で3カ月間飼育後でも、対照魚体中の Cu および Cd 量の変動は有意でなかった。

Cu 区についてみると、水中 Cu 濃度と魚体各部位(内臓、えら、その他の部分)中の

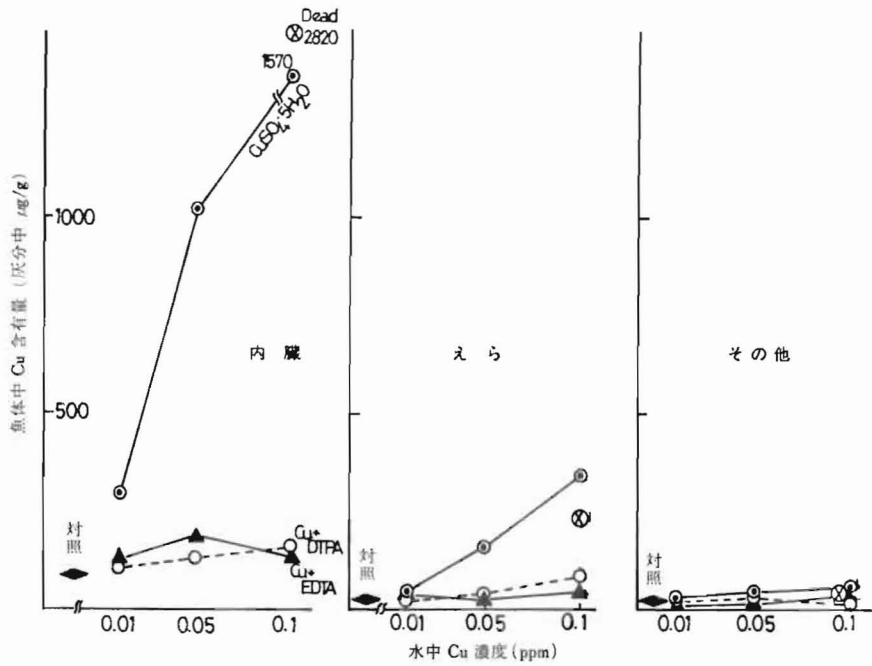
第2表 金属単独及びコンプレキサン添加処理による魚体各部位中金属含有量比較 (3ヶ月間飼育)

| 金属   | 処 理 区<br>(ppm)    | 金属含有量 (灰分中 $\mu\text{g/g}$ ) |            |      |            |       |             |
|--|-------------------|------------------------------|------------|------|------------|-------|-------------|
|  |                   | 内 臓                          |            | エ ラ  |            | そ の 他 |             |
|  |                   | 斃死魚                          | 生存魚        | 斃死魚  | 生存魚        | 斃死魚   | 生存魚         |
| $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$            | Cu 0.01           |                              | 292        |      | 44.8       |       | 24.6        |
|  | Cu 0.01+EDTA 0.21 |                              | 129        |      | 24.3       |       | 23.7        |
|  | Cu 0.01+DTPA 0.23 |                              | 114        |      | 40.1       |       | 20.1        |
|  | Cu 0.05           |                              | 1040       |      | 158        |       | 40.5        |
|  | Cu 0.05+EDTA 1.04 |                              | 186        |      | 36.6       |       | 28.3        |
|  | Cu 0.05+DTPA 1.16 |                              | 125        |      | 34.5       |       | 17.8        |
|  | Cu 0.1            | 2820                         | 1570       |      | 342        | 52.1  | 54.0        |
|  | Cu 0.1 + EDTA 2.1 |                              | 137        |      | 80.7       |       | 13.7        |
|  | Cu 0.1 + DTPA 2.3 |                              | 157        |      | 40.5       |       | 22.0        |
|  | EDTA 2.1          |                              | 92.0       |      | 27.7       |       | 13.9        |
| DTPA 2.3   |                   | 56.8                         |            | 41.5 |            | 25.9  |             |
| Control  |                   | 80.6                         |            | 24.2 |            | 21.6  |             |
| $\text{CdCl}_2 \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ | Cd 0.01           |                              | 101 (613)  |      | 109 (120)  |       | 9.0 (8.4)   |
|  | Cd 0.01+EDTA 0.12 |                              | 96.2       |      | 80.8       |       | 8.3         |
|  | Cd 0.01+DTPA 0.13 | 32.6                         | 82.3       |      | 94.3       |       | 7.4         |
|  | Cd 0.05           | 490                          | 720 (635)  |      | 1110 (245) |       | 34.2 (39.4) |
|  | Cd 0.05+EDTA 0.60 | 120                          | 419        |      | 554        |       | 25.9        |
|  | Cd 0.05+DTPA 0.67 | 60.0                         | 325        |      | 334        |       | 11.0        |
|  | Cd 0.1            | 2690                         | 851 (1030) |      | 1240 (684) |       | 64.9 (35.3) |
|  | Cd 0.1 + EDTA 1.2 | 943                          | 407        |      | 538        |       | 24.1        |
|  | Cd 0.1 + DTPA 1.3 |                              | 338        |      | 417        |       | 15.4        |
|  | EDTA 2.1          |                              | 5.7        |      | 0.4        |       | 1.5         |
| DTPA 2.3   |                   | 2.1                          |            | 0    |            | 0.6   |             |
| Control  |                   | 3.3                          |            | 2.1  |            | 0.8   |             |

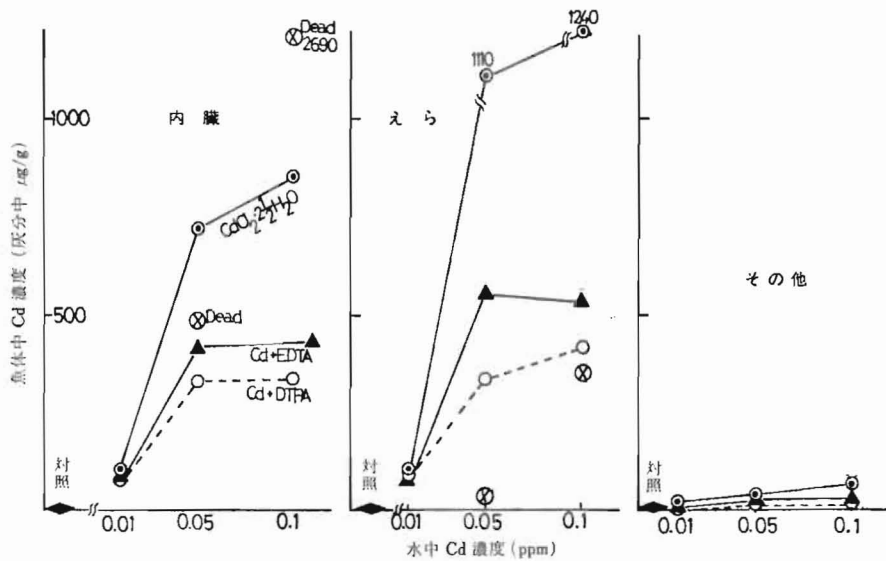
( ): 奇形魚の値を示す

Cu 濃度との間には、いずれも有意な正の相関が認められた。内臓において、水中 Cu 濃度に対し Cu 蓄積量が急増傾向にあった。次いで、えら、その他の部分の順となった。これは前報<sup>3)</sup>と類似の結果であり、Cu はえらへの吸着作用よりも内臓への移行が大であるためと推察される。

また、Cd 区についてみると、水中 Cd 濃度と魚体各部位中の Cd 蓄積濃度とは、Cu 同様、有意な正の相関が認められ、水中 Cd 濃度の増加にともない魚体中の Cd 濃度も増大した。この傾向はえら部位で最も顕著であり、次いで内臓、その他の部分の順であった。これは前報<sup>3)</sup>とは逆の傾向を示した。すなわち、高濃度短時間暴露の場合、Cd は



第3図 水中 Cu 濃度と魚体中の Cu 含有量との関係に及ぼすコンプレキサン添加の影響



第4図 水中 Cd 濃度と魚体中の Cd 含有量との関係に及ぼすコンプレキサン添加の影響

内臓>えら>その他の関係にあるのに対し、低濃度長期間暴露の場合、えら>内臓>その他の関係を示した。

第3表 水中金属濃度と魚体各部位中金属含有量（灰分中  $\mu\text{g/g}$ ）との相関関係

| 金属区  | [水中濃度]—[魚体中濃度] | 処<br>区<br>数 | 相<br>関<br>係<br>数 | 回帰直線式 $y=ax+b$ |      |
|--|----------------|-------------|------------------|----------------|------|
|  |                |             |                  | a              | b    |
| Cu<br>( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )            | [Cu] — [内 臓]   | 3           | 0.975            | 14052          | 218  |
|  | [Cu] — [え ら]   | 3           | 0.997            | 3318           | 4.7  |
|  | [Cu] — [その他]   | 3           | 0.994            | 324            | 22.4 |
| Cd<br>( $\text{CdCl}_2 \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) | [Cd] — [内 臓]   | 3           | 0.912            | 8099           | 125  |
|  | [Cd] — [え ら]   | 3           | 0.886            | 12158          | 171  |
|  | [Cd] — [その他]   | 3           | 0.999            | 621            | 2.9  |

### 3. 魚体各部位中への金属蓄積濃度に対するコンプレキサン添加の影響

魚体各部位中への金属蓄積濃度（灰分中  $\mu\text{g/g}$ ）におよぼすコンプレキサン添加の影響を検討するために金属単独区とコンプレキサン添加区の差を第4表に示した。

第4表 金属単独区とコンプレキサン添加区の間における魚体各部位中  
含有量差（灰分中  $\mu\text{g/g}$ ）

| 金属区  | [金属単独区]—[添加区] | 処<br>区<br>数 | 内 臓    | え ら   | そ の 他 |
|--|---------------|-------------|--------|-------|-------|
| Cu<br>( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )            | [Cu] — [EDTA] | 3           | 816.7* | 134.4 | 17.80 |
|  | [Cu] — [DTPA] | 3           | 835.3* | 143.2 | 19.73 |
| Cd<br>( $\text{CdCl}_2 \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) | [Cd] — [EDTA] | 3           | 249.9  | 428.7 | 16.60 |
|  | [Cd] — [DTPA] | 3           | 308.9  | 537.9 | 24.76 |

\*: 5%水準で有意

Cu についてみると、Cu 単独区とコンプレキサン区とでは、内臓において有意差が認められた。すなわち、EDTA および DTPA 添加によって、内臓中の Cu 蓄積濃度が有意に低下した。えら、その他の部分でも、コンプレキサン添加により、Cu 蓄積濃度の低下現象がみられるものの、有意差は認められなかった。また Cd では、Cd 単独区に比し、コンプレキサン添加区では、いずれの部位においても Cd 集積は低い傾向にあるが、有意差は認められなかった。

### 4. 各金属添加区における魚体内各部位間の蓄積量の比較

金属の蓄積部位の違いを検討するために、金属単独およびコンプレキサン添加区における魚体各部位間の金属含有量差を第5表に示した。

Cu 区では、内臓とえらの間に有意差が認められ、Cu 単独区では5%の有意水準で、また EDTA, DTPA 区ではともに5%以上の有意水準で内臓への Cu 蓄積が大であった。すなわち、Cu 単独区および EDTA 区は内臓 > えら  $\geq$  その他、DTPA 区は内臓 > えら > その他の関係を示し、いずれもえらより内臓への蓄積量が大であり、蓄積部位が内臓にある点が魚体に対する Cu の特徴と考えられる。

第5表 金属単独およびコンプレキサン添加処理による魚体各部位間の金属蓄積量の差

| 金属区  | 魚体各部位間       | 処理区数 | 金属単独区  | EDTA添加区 | DTPA添加区 |
|--|--------------|------|--------|---------|---------|
| Cu<br>( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )            | [内臓] — [えら]  | 3    | 785.7* | 103.5*  | 93.63** |
|  | [えら] — [その他] | 3    | 141.9  | 25.3    | 26.37*  |
|  | [内臓] — [その他] | 3    | 927.6* | 128.8** | 112.0** |
| Cd<br>( $\text{CdCl}_2 \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) | [内臓] — [えら]  | 3    | -262.4 | -83.53  | -33.40  |
|  | [えら] — [その他] | 3    | 783.7* | 204.5*  | 270.5*  |
|  | [内臓] — [その他] | 3    | 521.3* | 288.0*  | 237.1** |

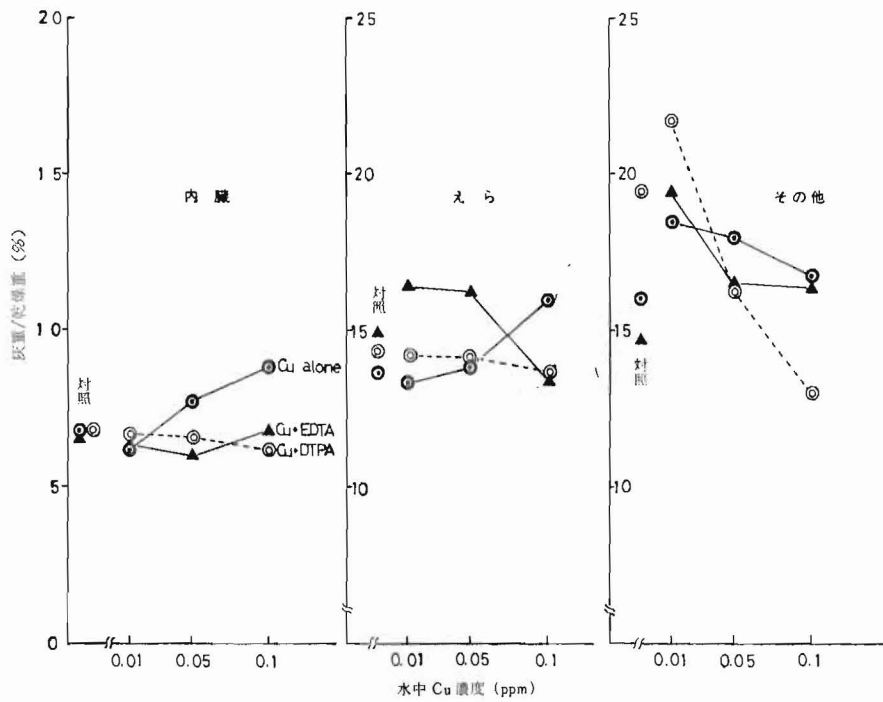
\*: 5%水準で有意, \*\*: 1%水準で有意

これに比し, Cd区では, Cd単独区およびコンプレキサン添加区ともに, えら $\geq$ 内臓 $>$ その他の関係を示した. すなわち, CuとCdとは金属別による蓄積部位の差異が示唆された. Cd区の場合, 3カ月間生存魚の金属分布は, えら $>$ 内臓 $>$ その他の関係にあったのに対し, 奇形魚, 斃死魚は, 内臓 $>$ えら $>$ その他の関係を示した. これは高濃度・短期間暴露の場合, えら組織へのCd集積が極度に高まり, 呼吸阻害<sup>3,5)</sup>を惹起し, 斃死を誘発したものと考えられるのに対し, 低濃度・長期間暴露の場合, えらへの集積は極度ではなく斃死には至らないが, 内臓への集積により, 慢性的に消化器系あるいは循環器系に何らかの異常が生じ, 催奇形性の一因となるものと推察される.

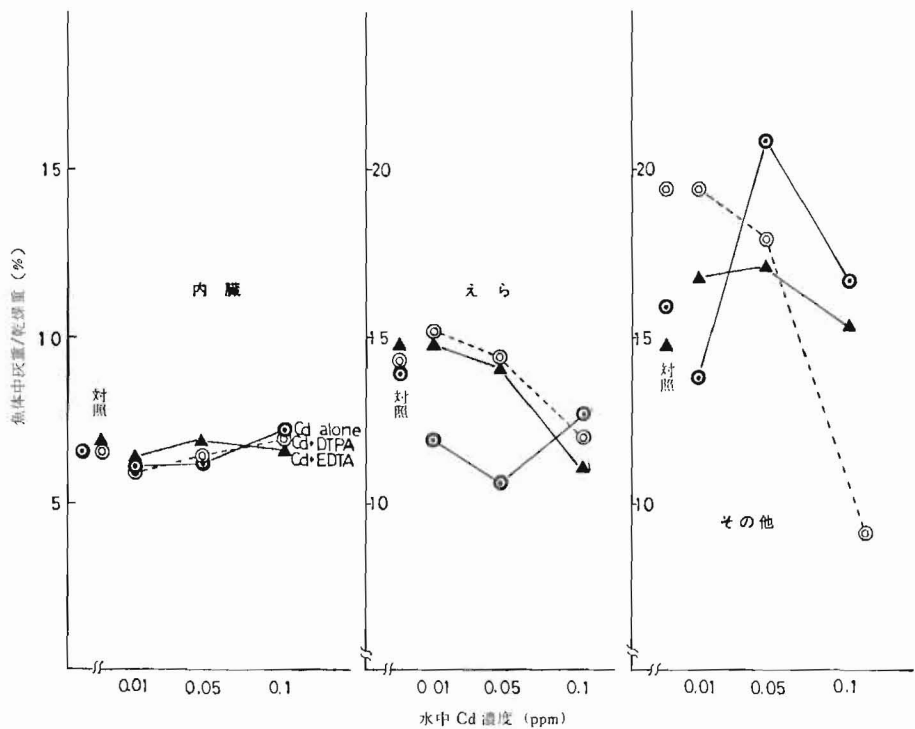
##### 5. 魚体各部位間の灰重/乾燥重(%)の比較

魚体中への金属集積により, 各部位の灰重/乾燥重(%)は異なると推察される. 各金属単独区及びコンプレキサン添加区における水中重金属濃度と魚体内各部位の灰重/乾燥重(%)の関係をCu, Cdについてそれぞれ, 第5図, 第6図に示す. まず, 魚体各部位の実験区間差異をみると, Cu単独区は, EDTA, DTPA区に比し, 内臓では灰重/乾燥重(%)は大となり, えら部位では水中Cu濃度が0.05 ppm以下ではEDTA区に比し小となる傾向にあった. Cd単独区は, えら部位では, EDTA, DTPA区に比し小となる傾向を示したが, いずれも有意差は認められなかった. また, Cd区における灰重/乾燥重(%)比の生存魚と斃死魚との間には顕著な差はなく, 骨部を含む, その他の部位において, 斃死魚に高い傾向がみられ, 長期間・金属暴露による骨部からの脱Caが予想される. 奇形魚では逆に, 対照魚の灰重/乾燥重(%)比が20であるのに対し, 半減値を示し, 灰重の低下が認められ, 骨代謝異常による催奇形性が推察された.

次に, 各処理区における魚体部位間差異を第6表に示す. Cd, Cu区ともに金属単独区ではその他 $>$ えら $>$ 内臓の関係にあるが, EDTA, DTPA添加区では, その他 $\geq$ えら $>$ 内臓の関係を示した. この関係は対照魚とはほぼ同様であるが, 金属単独及びEDTA, DTPA添加区ともに, えら部位でその濃度差が大となる傾向にあった.



第5図 水中金属濃度と魚体部位中の灰重/乾燥重(%)との関係(3ヵ月間生存魚)



第6図 水中金属濃度と魚体部位中の灰重/乾燥重(%)との関係(3ヵ月間生存魚)



第6表 各処理区における魚体内各部位間の灰重/乾燥重(%)の差

| 金属区   | 魚体各部位間       | 処理区数 | 金属単独区    | EDTA添加区  | DTPA添加区  |
|---|--------------|------|----------|----------|----------|
| Cu<br>(CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O)  | [内臓] - [えら]  | 3    | - 6.70*  | - 9.03*  | - 7.40** |
|   | [えら] - [その他] | 3    | - 3.40   | - 2.20   | - 3.07   |
|   | [内臓] - [その他] | 3    | -10.10** | -11.23*  | -10.47*  |
| Cd<br>(CdCl <sub>2</sub> ·2½H <sub>2</sub> O) | [内臓] - [エラ]  | 3    | - 5.23*  | - 6.70   | - 7.44*  |
|   | [エラ] - [その他] | 3    | - 5.37   | - 3.10   | - 1.60   |
|   | [内臓] - [その他] | 3    | -10.60   | - 9.80** | - 9.04   |

\*: 5%水準で有意, \*\*: 1%水準で有意 (注) 奇形魚は除く

### 6. Cdによる催奇形成現象

魚類による奇形魚発生の因子としては、1) 農薬、重金属、PCBなどの環境汚染物質、2) 魚類特有の疾病、3) 飼料、4) 物理的的刺激、5) その他が考えられる。坂口ら<sup>6)</sup>のビタミンB<sub>6</sub>、Cの欠乏による奇形魚の報告例、西内<sup>7)</sup>の農薬による脊椎骨の異常例、また今田

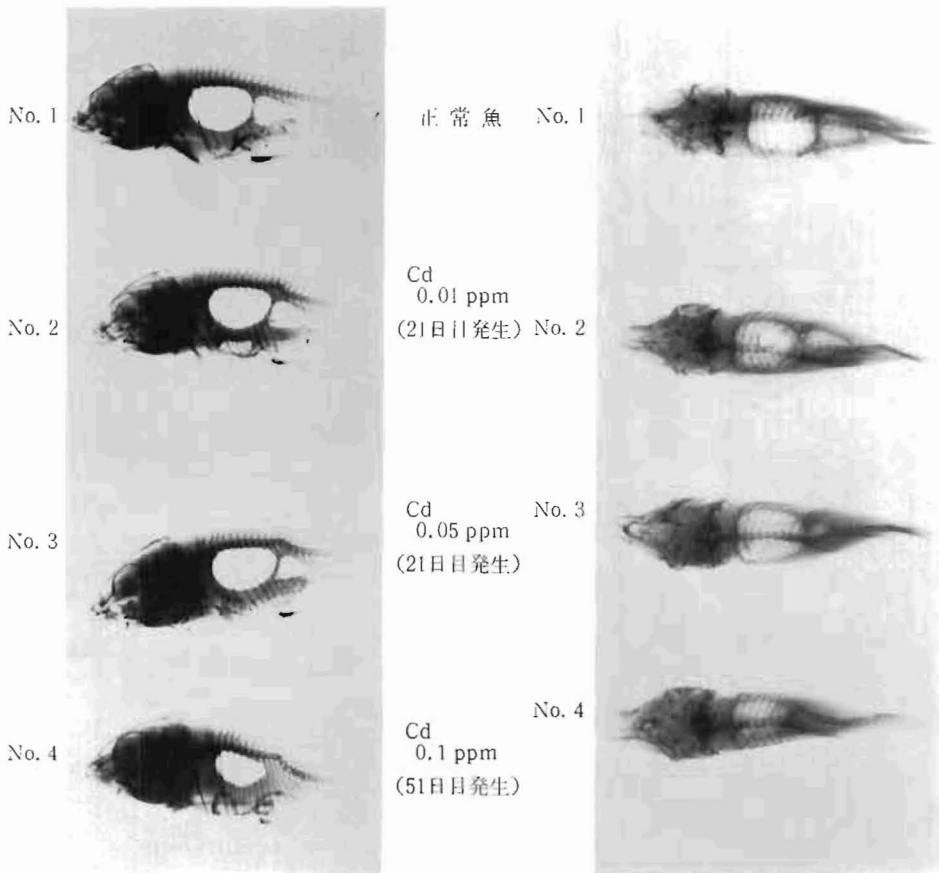
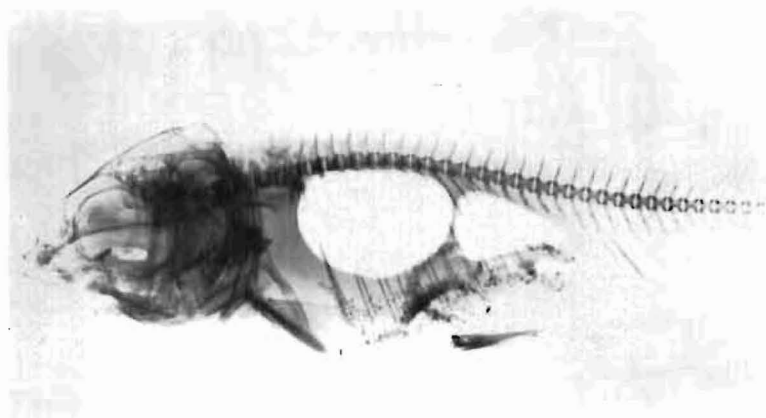


写真1 脊椎骨異常魚のX線写真(側面)

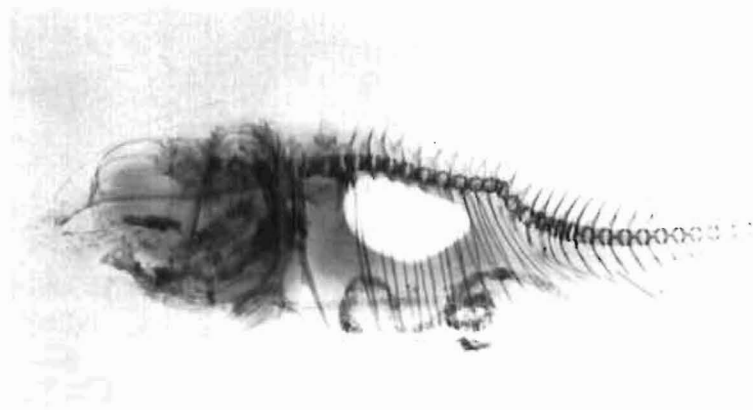
写真2 脊椎骨異常魚X線写真(上面)

ら<sup>8)</sup>の北海道における脊椎骨異常の症例報告がある。また金属によるものとしては、中村<sup>9)</sup>のウグイ (*Tribolodon nakonensis*) の骨曲がりの報告、P. H. Daris ら<sup>10)</sup> のニジマス (*Salmo gairdneri*) の Pb による尾部脊椎側彎の発生例報告などがあるが、飼育実験により確認された報告は少ない。本実験で、Cd 単独低濃度区において特異的に脊椎骨彎曲の奇形魚出現をみたことは興味ある結果である。それらの X 線写真を写真 1, 2 に示した。No. 1 は正常魚、No. 2 は Cd 0.01 ppm 区、No. 3 は Cd 0.05 ppm 区、No. 4 は Cd 0.1 ppm 区における発生魚である。

Cd 0.01 ppm, 0.05 ppm 区では実験開始後 21 日目に、Cd 0.1 ppm 区では 51 日目に観察された。また別に行なわれた Cd 0.05 ppm 区の実験でも、90 日間暴露で背曲がりによる奇形魚が発現した。奇形魚 (No. 4) と対照魚 (No. 1) の脊椎骨拡大写真を写真 3 に示す。奇形魚の脊椎骨には上下彎症および尾部萎縮症が顕著に見られる。関節が圧迫され短縮癒合し、軟骨が空洞化したもの、小骨の尖端部分が細く歪曲を呈したものなど骨組織からの脱灰現象が推察される。いずれも奇形魚出現は Cd 単独区に限られ、対照魚の灰重/乾燥



No. 1  
正常魚



No. 4  
奇形魚

写真3 脊椎側彎部拡大 X 線写真

重(%)に対し、魚体各部位で低下傾向にあり、特に、その他の部位(えら、内臓以外の部分で骨部を含む)で半減値を示したことから Cd による何らかの骨代謝異常が原因するものと考えられる。これに対し、コンプレキサン添加区(EDTA, DTPA)ではその現象が観察されず、Cd の催奇形成性に対する緩和作用が示唆されたが、その発生機序及び金属解毒機構の解明は今後の課題である。

また、奇形部位は脊柱屈曲部の症例が多いことから、脱灰により軟質化した骨組織が屈曲運動に伴なう筋肉圧迫により、変形し、背曲がり魚の出現をみるものと推察される。

### 7. 奇形魚と正常魚の魚体各部位中金属濃度比較

奇形魚が出現した Cd 単独区における3カ月間生存魚と奇形魚の魚体各部位中 Cd 蓄積性の相違を知るために、Cd 含有量比較を第7表に示した。

3カ月間生存魚の Cd 量はえら>内臓>その他の順となり、Cd 含有量はえら部分に高く、内臓に対し、1.01~1.54倍量であるが、奇形魚は逆に、内臓>えら>その他の分布を示した。えら部位への蓄積量は低く、内臓に特異的に高く、えら部位の1.51~5.11倍量を示した。これは生存魚よりも高い蓄積量であるが、いずれも途中斃死は見られず、3カ月間生存し興味ある結果を示した。すなわち前報<sup>3)</sup>の重金属(Cd)短期間暴露時の斃死魚では、えら>内臓の関係にあり、えら組織への Cd 集積の極度な高まりにより呼吸阻害<sup>3,5)</sup>を惹起したと考えられるのに対し、低濃度・長期間暴露時では、Cd のえら組織への沈着は急激ではなく、生存するが、慢性的な内臓への移行集積により、消化器系あるいは循環器系に何らかの機能障害が惹起され、斃死や催奇性誘発の原因となるものと推測される。

第7表 奇形魚と生存魚(3カ月間)の各部位中 Cd 含有量比較(灰中 µg/g)

| 金属区         | 魚体中 Cd 含有量(灰中 µg/g) |            |             |
|-------------|---------------------|------------|-------------|
|             | 内臓                  | えら         | その他         |
| Cd 0.01 ppm | 101 (613)           | 109 (120)  | 9.0 (8.4)   |
| Cd 0.05 ppm | 720 (635)           | 1110 (245) | 34.2 (39.4) |
| Cd 0.1 ppm  | 851 (1030)          | 1240 (684) | 64.9 (35.3) |

( )内は奇形魚の値を示す

### 要 結

前報<sup>3)</sup>において、重金属毒性および集積性について、比較的高濃度・短期間暴露時のコンプレキサン(NTA, EDTA, DTPA)添加によるそれら重金属(Cd, Zn, Pb, Cu)への影響について検討した。本報では対象金属として、前報で強毒性を示した Cu と、えら組織への集積が大であった Cd との2金属を用い比較的低濃度・長期間(3カ月間)暴露における金属毒性および魚体内蓄積性に対するコンプレキサン(EDTA, DTPA)添加の影響について検討を行なった。

1) Cu, Cd の稚鯉に対する毒性は大であり、ことに Cu 0.1 ppm 区では50%の斃死率を示すが、コンプレキサン(EDTA, DTPA)の添加処理により斃死低減が示され、魚体中各部位への集積性の抑制現象がみられた。

2) 金属により魚体内蓄積部位が異なり、Cu は内臓>えら>その他の分布を示し、内

臓への局在集積がみられた。逆に Cd はえらへの沈着が顕著で、えら>内臓>その他の分布を示した。

3) 同一濃度における集積性には金属間の差異が認められ、低濃度区 0.01~0.1 ppm の範囲では、内臓に Cu が Cd の約 2 倍、逆にえら、その他の部位には 1/3, 1/2 倍の集積が示された。

4) Cd 単独区に特異的に背曲りの奇形魚が観察された。脊柱側彎、尾部萎縮現象がみられ、Cd 0.01 ppm, 0.05 ppm 区では実験開始後 21 日目、Cd 0.1 ppm 区では 51 日目に各 1 尾出現したが、いずれも 3 カ月間では斃死には至らなかった。これに対し、コンプレキサン添加処理では奇形魚の出現はみられず、催奇性抑制現象がみられた。

## 文 献

- 1) 青木 弘. 1970. 水銀による環境汚染に関する研究 (Hg series No. 14) 第 3 報, 市民頭髮水銀量と市販魚介類水銀について. 日衛誌 24 : 546-555.
- 2) 上田喜一・青木 弘. 1969. 重金属による水質汚染と中毒, 水俣病, イタイイタイ病. 慶応医学 46 : 1-8.
- 3) 村本茂樹. 1978. コンプレキサンによる重金属の毒性緩和及び除去性に関する基礎的研究. 第 1 報. 比較的高濃度重金属 (Cd, Zn, Cu, Pb) 水中における水産動物への集積性および毒性に対するコンプレキサン (NTA, EDTA, DTPA) の影響. 農学研究 57 : 127-142.
- 4) Donald I. Mount. 1967. Chronic toxicity of copper to fathead minnows (*Pimephales promelas*, Rafinesque). Water Res. 2 : 215-223.
- 5) J. F. Skidmore and P. W. A. Tovell. 1971. Toxic effects of zinc sulphate on the gills of rainbow trout. Water Res. 6 : 217-230.
- 6) 坂口宏海・竹内文弥・丹下勝義. 1969. ハマチのビタミン要求に関する研究. I, B<sub>6</sub> 及び C の欠乏症について. 日水誌 35 : 1201-1206.
- 7) 西内康浩. 1973. 農薬製剤の数種淡水動物に対する毒性 XVII. 水産増殖 20 : 137-142.
- 8) 今田和史・吉住喜好. 1973. 魚類の脊椎異常 I. 道内で発見された奇形魚について. 水産孵化場研究報告 28 : 45-55.
- 9) 中村亮. 1971. 重金属の魚類生体内濃縮に関する実験的研究. (1)カドミウムについて. 第 2 報. 日衛誌 26 : 165.
- 10) P. H. Davies, J. P. Goettl, JR, Sinley and N. F. Smith. 1975. Acute and Chronic toxicity of lead to rainbow trout *Salmo gairdneri* in hard water. Water Res. 10 : 199-206.