

水産用水基準 53)アンモニア態窒素を下記の通り改訂する。

アンモニア態窒素の水産用水基準は、

淡水域： 1.9 mg/L (pH = 7.0、水温20℃のとき)

海域 : 0.90 mg/L (pH = 8.0、水温20℃、塩分30のとき)

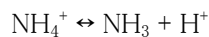
### 53) アンモニア態窒素

本項では、これまでの水産用水基準にならい、米国環境保護庁(U.S. EPA)の、環境中の水生生物に対するアンモニアの影響判定基準(Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Ammonia)にもとづいて水産用水基準を示す。淡水については、U.S. EPAの2013年版<sup>53.1)</sup>を用い、海水については1989年版<sup>53.2)</sup>を用いた(2019年現在、いずれも最新版)。

水中のアンモニアは、海藻や植物プランクトンの成長に必要な栄養塩(無機態窒素)のひとつである。しかし、過剰な濃度になると、水生生物に悪影響を与える。このため、アンモニア濃度は、水圏の富栄養の指標ともなっている<sup>53.1)</sup>。

水中のアンモニアには、非解離アンモニア(NH<sub>3</sub>)と解離アンモニア(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (アンモニウムイオン)がある。この2つのアンモニアを合計したものが全アンモニアである。全アンモニア態窒素は、記号TAN(Total Ammonia Nitrogen)で表される。

非解離と解離アンモニアは、水中では下記の化学式で平衡状態を保っている。



$$\text{平衡定数 } K = [\text{NH}_3][\text{H}^+]/[\text{NH}_4^+]$$

このため、全アンモニアに占める非解離アンモニアの割合  $[\text{NH}_3]/([\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+])$  は、pH(水素イオン濃度指数)および水温によって大きく変わり、塩分によっても変わる。ここに記号[ ]はモル濃度を表す。非解離アンモニアの割合は、pHが大きいと大きく、水温が高いと大きくなる。pH 7~8 の通常の淡水・海水中では、非解離アンモニアが少なく、解離アンモニアが大部分を占める。一般的な海水(pH 8.0、塩分28-31)の場合、非解離アンモニア割合は、水温10℃で1.51%、水温20℃で3.12%である<sup>53.3)</sup>。

水生生物に対するアンモニアの毒性は主として非解離アンモニアによる。非解離アンモニアの毒性は、解離アンモニアの毒性の300から400倍の強さがあるとされているが、後者の濃度は、前者の濃度よりも1桁か2桁大きい<sup>53.4)</sup>。このため、U.S. EPA<sup>53.1, 53.2)</sup>では、全アンモニアの基準値を、pHおよび水温の数表として与えている。

日本産業規格「JIS K0102、42 アンモニウムイオン」で測られるアンモニア態窒素は、全アンモニア態窒素である。<sup>53.1, 53.2)</sup> 本水産用水基準は、U.S. EPA<sup>53.1, 53.2)</sup>の淡水および海水における慢性毒性についての影響判定基準(Criteria)を、全アンモニア態窒素で示したものである。

### (1) 淡水域における水産用水基準

淡水域における水産用水基準は1.9 mg/L(pH = 7.0、水温20°Cのとき)である。その他のpH、水温における基準値は表53.1中に示す。また、pH = 7.0における水温と基準値の関係を図53.1に示す。U.S. EPA<sup>53.1)</sup>の慢性毒性についての影響判定基準では、30日間の平均値としてこの値を示している。

### (2) 海水域における水産用水基準

海水域における水産用水基準は 0.90 mg/L(pH = 8.0、水温20°C、塩分30のとき)である。その他の pH、水温、塩分における基準値は表53.2中に示す。U.S. EPA<sup>53.2)</sup>の慢性毒性についての影響判定基準では、4日間の平均としてこの値を示している。

### (3) 判定に使用するデータの測定法

#### (アンモニアについて)

U.S. EPA<sup>53.1, 53.2)</sup>では、全アンモニア態窒素の測定法は、インドフェノール青吸光光度法、インドフェノール青発色流れ分析法を想定している。これらの化学分析で得られる濃度は、全アンモニア態窒素の濃度である<sup>53.1, 53.2)</sup>。日本産業規格「JIS K0102、42 アンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)」におけるアンモニア態窒素は、全アンモニア態窒素である。

#### (pH について)

全アンモニアに占める非解離アンモニアの割合はpHによって大きく変わる。一般に、pH電極の校正は、イオン強度の小さいpH標準液によって行われる。これで校正されたpH電極で測られたpHは、NBSスケールpH(pH<sub>NBS</sub>)と呼ばれる。一方、海水中のアンモニアの解離平衡の計算に用いるpHは、フリー水素イオン濃度スケールpH(pH<sub>F</sub>)が望ましい<sup>53.2)</sup>。海水のpHをpH電極で正確に測るのは難しい。海水のpH<sub>NBS</sub>は、pH<sub>F</sub>よりも若干大きく、塩分30では0.02大きく、塩分20では0.045、塩分10では0.075大きい<sup>53.5, 53.2)</sup>。

表53.1 淡水のアンモニア態窒素の基準値(mg-TAN/L)

pH	水温 (°C)												
	0-7	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
6.5	4.9	4.6	4.1	3.6	3.1	2.8	2.4	2.1	1.9	1.6	1.4	1.3	1.1
6.6	4.8	4.5	4.0	3.5	3.1	2.7	2.4	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1
6.7	4.8	4.5	3.9	3.4	3.0	2.7	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1
6.8	4.6	4.4	3.8	3.4	3.0	2.6	2.3	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1
6.9	4.5	4.2	3.7	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0
7.0	4.4	4.1	3.6	3.2	2.8	2.4	2.1	<b>1.9</b>	1.7	1.5	1.3	1.1	0.99
7.1	4.2	3.9	3.4	3.0	2.7	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1	0.95
7.2	4.0	3.7	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.90
7.3	3.7	3.5	3.1	2.7	2.4	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	0.97	0.85
7.4	3.5	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.90	0.79
7.5	3.2	3.0	2.7	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1	0.95	0.83	0.73
7.6	2.9	2.8	2.4	2.1	1.9	1.6	1.4	1.3	1.1	0.98	0.86	0.76	0.67
7.7	2.6	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0	0.88	0.78	0.68	0.60
7.8	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.89	0.79	0.69	0.61	0.53
7.9	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.89	0.79	0.69	0.61	0.53	0.47
8.0	1.8	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0	0.88	0.78	0.68	0.60	0.53	0.46	0.41
8.1	1.5	1.5	1.3	1.1	0.99	0.87	0.76	0.67	0.59	0.52	0.45	0.40	0.35
8.2	1.3	1.2	1.1	0.96	0.84	0.74	0.65	0.57	0.50	0.44	0.39	0.34	0.30
8.3	1.1	1.1	0.93	0.82	0.72	0.63	0.55	0.49	0.43	0.38	0.33	0.29	0.26
8.4	0.95	0.89	0.78	0.69	0.61	0.53	0.47	0.41	0.36	0.32	0.28	0.25	0.22
8.5	0.80	0.75	0.66	0.58	0.51	0.45	0.40	0.35	0.31	0.27	0.24	0.21	0.18
8.6	0.68	0.64	0.56	0.49	0.43	0.38	0.33	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18	0.15
8.7	0.57	0.54	0.47	0.42	0.37	0.32	0.28	0.25	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13
8.8	0.49	0.46	0.40	0.35	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19	0.16	0.14	0.13	0.11
8.9	0.42	0.39	0.34	0.30	0.27	0.23	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09
9.0	0.36	0.34	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08

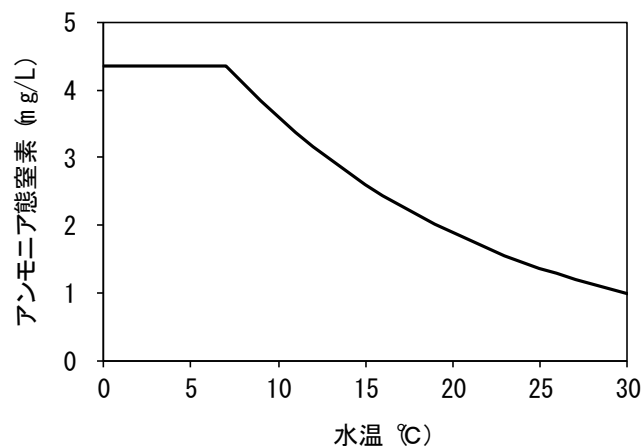


図53.1 淡水のpH = 7.0 におけるアンモニア態窒素の基準値(mg-TAN /L)

表53.2 海水のアンモニア態窒素の基準値 (mg-TAN /L)

pH	水温 (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
	塩分 = 10							
7.0	34	24	16	11	7.7	5.3	3.7	2.5
7.2	22	15	10	7.1	4.9	3.4	2.3	1.6
7.4	14	9	6.5	4.5	3.1	2.1	1.5	1.0
7.6	8.6	5.9	4.1	2.8	2.0	1.4	0.9	0.66
7.8	5.4	3.8	2.6	1.8	1.2	0.87	0.61	0.43
8.0	3.4	2.4	1.6	1.1	0.80	0.56	0.39	0.28
8.2	2.2	1.5	1.0	0.73	0.51	0.36	0.26	0.19
8.4	1.4	1.0	0.67	0.47	0.33	0.24	0.17	0.13
8.6	0.89	0.62	0.44	0.31	0.22	0.16	0.12	0.09
8.8	0.57	0.40	0.29	0.21	0.15	0.11	0.09	0.07
9.0	0.37	0.26	0.19	0.14	0.11	0.08	0.07	0.05
	塩分 = 20							
7.0	36	25	17	12	8.1	5.6	3.9	2.7
7.2	23	16	11	7.5	5.1	3.5	2.5	1.7
7.4	14	10	6.8	4.7	3.3	2.3	1.6	1.1
7.6	9.1	6.3	4.3	3.0	2.1	1.4	1.0	0.69
7.8	5.7	4.0	2.7	1.9	1.3	0.91	0.64	0.45
8.0	3.6	2.5	1.7	1.2	0.84	0.59	0.41	0.29
8.2	2.3	1.6	1.1	0.77	0.54	0.38	0.27	0.20
8.4	1.5	1.0	0.71	0.50	0.35	0.25	0.18	0.13
8.6	0.93	0.65	0.46	0.32	0.23	0.17	0.13	0.10
8.8	0.60	0.42	0.30	0.22	0.16	0.12	0.09	0.07
9.0	0.39	0.28	0.20	0.15	0.11	0.08	0.07	0.06
	塩分 = 30							
7.0	38	26	18	12	8.6	5.9	4.1	2.8
7.2	24	17	11	7.9	5.4	3.8	2.6	1.8
7.4	15	10	7.2	5.0	3.4	2.4	1.6	1.1
7.6	9.6	6.6	4.6	3.2	2.2	1.5	1.0	0.73
7.8	6.1	4.2	2.9	2.0	1.4	0.96	0.67	0.47
8.0	3.8	2.7	1.8	1.3	0.89	0.62	0.44	0.31
8.2	2.4	1.7	1.2	0.81	0.57	0.40	0.29	0.21
8.4	1.5	1.1	0.75	0.52	0.37	0.26	0.19	0.14
8.6	0.99	0.69	0.48	0.34	0.24	0.18	0.13	0.10
8.8	0.63	0.44	0.32	0.23	0.16	0.12	0.09	0.07
9.0	0.41	0.29	0.21	0.15	0.11	0.09	0.07	0.06

(参考 1)

表53.1および図53.1の、淡水域での基準値 Freshwater\_Criteria (mg-TAN/L)は、下記に示す pHおよび水温の関数として与えられる。数式は、エクセルのVBAで示した。ここで、かけ算×は \* であり、Aのn乗は、A ^ n である。

Function Freshwater\_Criteria(ph, Tempdeg) 【淡水におけるアンモニア態窒素の基準値(mg-TAN/L)】

' Tempdeg: 水温(°C)

' pH: 水素イオン指数

$$a1 = 0.0278 / (1 + 10 ^ (7.688 - ph)) + 1.1994 / (1 + 10 ^ (ph - 7.688))$$

$$\max T = \text{Application.WorksheetFunction.Max}(Tempdeg, 7)$$

$$b2 = 2.126 * 10 ^ (0.028 * (20 - \max T))$$

$$\text{Freshwater\_Criteria} = 0.8876 * a1 * b2$$

End Function

-----

(参考 2)

表53.2の海域での基準値 Seawater\_Criteria (mg-TAN/L)は、下記に示す pHおよび水温、塩分の関数として与えられる。数式は、エクセルのVBAで示した。

U.S.EPA(海水)<sup>53.2)</sup>の慢性毒性についての影響判定基準では、非解離アンモニアが4日平均で0.035 mg/Lを超えないこととして、全アンモニアの基準値を計算で求めている(全アンモニア態窒素ではないことに注意)。この計算に用いられた、全アンモニアにおける非解離アンモニアの割合

( $= 100 \times [\text{NH}_3] / ([\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+])$ )は、文献53. 6)にFortranプログラムが示されている。この計算の基となっている海水および淡水における解離定数等は文献53. 7)による。このFortranプログラムを、エクセルのVBAに変換した関数も以下に示す。

-----

【海水におけるアンモニア態窒素の基準値 Seawater\_Criteria(mg-TAN/L)を pH, 水温, 塩分から 求める計算】

Function Seawater\_Criteria(ph, Tempdeg, Sal) '【海水におけるアンモニア態窒素の基準値(mg-TAN/L)】

' Tempdeg: 水温(°C)

' pH: 水素イオン指数

' Sal: 塩分

NH3N = 0.028786 ' 非解離アンモニア態窒素の基準値(0.028786 mgNH3-N/L = 0.035 mgNH3/L)

If Sal > 1 Then

SC = NH3N \* 100 / Ratio\_seawater(ph, Tempdeg, Sal)

Else

SC = NH3N \* 100 / Ratio\_freshwater(ph, Tempdeg)

End If

Seawater\_Criteria = SC

End Function

-----

【アンモニア 非解離割合 %UIA (% Unionized Ammonia) の計算】

' %UIA =  $100 * [\text{NH}_3] / ([\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+])$

-----

Function Ratio\_freshwater(ph, Tempdeg) '【淡水における非解離アンモニアの%割合(0~100%)の計算】

' 【塩分Sal ≤ 1‰ で用いる】

' pH: 水素イオン指数

' Tempdeg: 水温(°C)

Temp = Tempdeg + 273.15 '絶対温度に変換

Ratio\_freshwater =  $100 / (1 + 10^{(18.915 - 0.0324 * \text{Temp} - \text{ph})})$

End Function

-----

Function Ratio\_seawater(ph, Tempdeg, Sal) '【海水における非解離アンモニアの%割合(0~100%)の計算】

' 【塩分Sal > 1‰ で用いる】

' pH: 水素イオン指数

' Tempdeg: 水温(°C)

' Sal: 塩分(‰)

Press = 1 'atm 大気圧

Temp = Tempdeg + 273.15 '絶対温度に変換  
 Ion = 19.9273 \* Sal / (1000 - 1.005109 \* Sal) 'イオン強度(mol/L)  
 pK = 0.116 \* Ion + 9.245  
 Ratio\_seawater = 100 / (1 + 10 ^ (pK + 0.0324 \* (298# - Temp) + 0.0415 \* Press / Temp - ph))

End Function

(参考 3)

U.S.EPA (海水)<sup>53.2)</sup> では、全アンモニア態窒素をNH<sub>3</sub>-Nで、全アンモニアをNH<sub>3</sub>で表している。一方、JIS K0102 42. では、アンモニア体窒素(全アンモニア態窒素と同じ)をNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nで、アンモニア(全アンモニアと同じ)をNH<sub>3</sub>で表している。

(参考 4)

U.S. EPA<sup>53.1, 53.2)</sup> は、アンモニアが、環境中の水生生物へ悪影響を及ぼしはじめる濃度について、科学的に整理した判断基準(criteria)である(つまり許容範囲の上限値)。アンモニアの栄養塩としての必要性(下限値)については、ここでは取り扱っていないと記載されている。環境基準(standard)は、各州が、当該水域の混合状態(停滞水域か、流水であるか)等を考慮して定めることとなっている。

(5) 文献情報

水産用水基準で収集した文献を以下に示す。なお、U.S. EPA(2013年版、淡水用)<sup>53.1)</sup>では、生物種の属平均の影響値が、順位をつけた一覧表の形で、急性および慢性影響、それぞれについて示されている。

以下、全アンモニア態窒素をTAN(Total Ammonia Nitrogen)で表し、非解離アンモニア態窒素をNH<sub>3</sub>-Nで表す。(以下では、NH<sub>3</sub>-Nは全アンモニア態窒素ではないことに注意)

(淡水域)

アユは欧米では評価の対象となっていないが、わが国ではアユは水産やレクリエーション上重要な魚である<sup>53.8)</sup>。文献<sup>53.8)</sup>では、文献<sup>111)</sup>から、アユに対するアンモニアの無影響濃度は0.04 mg NH<sub>3</sub>/Lとしている。また、文献<sup>53.9)</sup>では、河川水濃縮水での飼育実験結果から、非解離アンモニアのアユに対する48時間半数致死濃度LC50は0.24mg NH<sub>3</sub>/Lと算出している。

淡水生物に対するアンモニア態窒素の影響に関する知見は下記のとおりであった。

生物種	エンドポイント	曝露期間	毒性値	文献
<i>Lumbriculus variegatus</i> (貧毛類綱オヨギミズ目)	LC50	10 日間	(水温25.1℃) (pH6.5) 390 mg TAN/L・0.45 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH7.2) 75.4 mg TAN/L・0.65 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH7.8) 21.4 mg TAN/L・0.76 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH8.6) 6.6 mg TAN/L・1.20 mg NH <sub>3</sub> -N/L	330)
<i>Chironomus tentanus</i> (ユスリカ科)	LC50	10 日間	(水温25.0℃) (pH6.5) 368 mg TAN/L・0.72 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH7.2) 233 mg TAN/L・1.58 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH7.8) 186 mg TAN/L・4.61 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH8.6) 82.4 mg TAN/L・13.8 mg NH <sub>3</sub> -N/L	330)
<i>Chironomus riparius</i> (ユスリカ科)	LC50	96 時間	(水温21.4-21.7℃・ph7.6-7.7・DO 8.1-8.8mg/L・ CaCO <sub>3</sub> 271-286 mg/L) 6.6 - 9.4 mg NH <sub>3</sub> -N/L	331)

	LC50	96 時間	(水温21.4-21.7°C・pH7.5-7.7・DO 6.0-6.4mg/L・CaCO <sub>3</sub> 196-222 mg/L)(下水処理水) 4.1 - 7.8 mg NH <sub>3</sub> -N/L	
<i>Ceriodaphnia dubia</i> (ミジンコ科)	LC50	48 時間	(水温23°C・pH7.0-7.8) 59 mg NH <sub>3</sub> -N/L	334)
<i>Hyalella azteca</i> (端脚類) 7~14日齢	LC50	96 時間	(水温25°C・DO7.8mg/L・CaCO <sub>3</sub> 42 mg/L) (pH6.5) 22.8 mg TAN/L・0.04 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH7.5) 17.5 mg TAN/L・0.31 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH8.5) 24.0 mg TAN/L・2.24 mg NH <sub>3</sub> -N/L	332)
<i>Hyalella azteca</i> (端脚類) 7~14日齢	LC50	96 時間	(水温25°C・DO7.8mg/L・CaCO <sub>3</sub> 100 mg/L) (pH6.5) 105 mg TAN/L・0.19 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH7.5) 64.0 mg TAN/L・0.83 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH8.5) 39.8 mg TAN/L・6.09 mg NH <sub>3</sub> -N/L	332)
<i>Hyalella azteca</i> (端脚類) 7~14日齢	LC50	96 時間	(水温25°C・DO7.8mg/L・CaCO <sub>3</sub> 270 mg/L) (pH6.5) 204 mg TAN/L・0.37 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH7.5) 140 mg TAN/L・2.14 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH8.5) 35.2 mg TAN/L・5.38 mg NH <sub>3</sub> -N/L	332)
<i>Macrobrachium rosenbergii</i> (テナガエビ科) ポストラーバ	LC50	72 時間	(水温29°C・pH8.5) 2.18 mg NH <sub>3</sub> -N/L (水温29°C・pH9.0) 1.45 mg NH <sub>3</sub> -N/L	343)
<i>Macrobrachium rosenbergii</i> (テナガエビ科) 稚エビ	LC50	72 時間	(水温29°C・pH9.0) 2.02 mg NH <sub>3</sub> -N/L	343)
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (ニジマス)	LC50	96 時間	0.32 - 0.63 mg NH <sub>3</sub> -N/L	331)
<i>Salvelinus fontinalis</i> (カワマス)	LC50	96 時間	0.96 mg NH <sub>3</sub> -N/L	331)
<i>Pimephales promelas</i> (ウグイ亜科)	LC50	96 時間	1.10 mg NH <sub>3</sub> -N/L	331)
<i>Lepomis macrochirus</i> (ブルーギル)	LC50	96 時間	1.75 mg NH <sub>3</sub> -N/L	331)
<i>Ictalurus punctatus</i> (アメリカナマス)	LC50	96 時間	2.90 mg NH <sub>3</sub> -N/L	331)
<i>Heteropneustes fossilis</i> (ナマズ目)	LC50	96 時間	(水温28.5°C・pH7.8・塩分0.15ppt・DO 5.37mg/L) 42 mg NH <sub>3</sub> -N/L	336)

上記の半数致死濃度に関する知見の他に、TANが増加するに従いアユの摂餌量の低下等により生長が低下し、TANの許容濃度は 1.5 mg/L以下 (pH7.6-7.8・水温21.6-26.7°C・実験期間13-15日間)との報告がある<sup>111)</sup>。63 日間 0.065 mg NH<sub>3</sub>-N/L (pH7・水温10°C)に曝露されたブラウンマス稚魚の成長率は半減した報告がある<sup>337)</sup>。

## (海域)

海産生物に対するアンモニア態窒素の影響に関する知見は下記のとおりであった。

生物種	エンドポイント	曝露期間	毒性値	文献
<i>Ulva fasciata</i> (アオサ属)	EC50(発芽)	96 時間	(水温20°C) 25 mg TAN/L・1.65 mg NH <sub>3</sub> -N/L	230)
<i>Cerebratulus fuscus</i> (紐形動物門リネウス科)	LC50	106 分間	2.3mg NH <sub>3</sub> -N/L	110)
<i>Mercenaria mercenaria</i> (ホンビノスガイ) 稚貝・成貝	濾過率半減	20 時間	0.16・0.32mg NH <sub>3</sub> -N/L	110)
<i>Crassostrea virginica</i> (アメリカガキ) 稚貝	濾過率半減	20 時間	0.08mg NH <sub>3</sub> -N/L	110)
<i>Haliotis laevis</i> (アワビ属) 稚貝	体重増加率半減	2-3 ヶ月以上	0.158 mg NH <sub>3</sub> -N/L	338)
<i>Brachionus plicatilis</i> (シオミズボウムシ)	LC50	24 時間	20.9mg NH <sub>3</sub> -N/L	110)
	純再生産半減	—	9.6mg NH <sub>3</sub> -N/L	
	固有増殖率半減	—	16.2mg NH <sub>3</sub> -N/L	
<i>Ampelisca abdita</i> (端脚類)	LC50	96 時間	49.8 mg TAN/L・0.83 mg NH <sub>3</sub> -N/L	109)

<i>Rhepoxynius abronius</i> (端脚類)	LC50	96 時間	78.7 mg TAN/L・1.59 mg NH <sub>3</sub> -N/L	109)
<i>Eohaustorius estuaries</i> (端脚類)	LC50	96 時間	125.5 mg TAN/L・2.49 mg NH <sub>3</sub> -N/L	109)
<i>Grandidierella japonica</i> (端脚類)	LC50	96 時間	148.3 mg TAN/L・3.35 mg NH <sub>3</sub> -N/L	109)
<i>Penaeus japonicus</i> (クルマエビ幼生) ノープリウスIII期 ゾエアII期 ミシスII期 ポストラーバII期 ポストラーバXII期	LC50	24 時間	(水温30°C・pH8.1・塩分33ppt) 20.88 mg TAN/L・1.31 mg NH <sub>3</sub> -N/L 15.54 mg TAN/L・0.97 mg NH <sub>3</sub> -N/L 17.31 mg TAN/L・1.08 mg NH <sub>3</sub> -N/L 31.68 mg TAN/L・1.98 mg NH <sub>3</sub> -N/L 53.37 mg TAN/L・3.34 mg NH <sub>3</sub> -N/L	339)
<i>Penaeus japonicus</i> (クルマエビ幼生) ゾエアII期 ミシスII期 ポストラーバII期 ポストラーバXII期	LC50	48 時間	(水温30°C・pH8.1・塩分33ppt) 7.57 mg TAN/L・0.47 mg NH <sub>3</sub> -N/L 15.20 mg TAN/L・0.95 mg NH <sub>3</sub> -N/L 23.80 mg TAN/L・1.49 mg NH <sub>3</sub> -N/L 33.85 mg TAN/L・2.12 mg NH <sub>3</sub> -N/L	339)
<i>Penaeus japonicus</i> (クルマエビ) 稚仔エビ	LC50	24 時間 48 時間 72 時間 96 時間	(水温27°C・pH8.23・塩分34ppt・DO5.7-6.2mg/L) 72.40 mg TAN/L・5.39 mg NH <sub>3</sub> -N/L 45.10 mg TAN/L・3.36 mg NH <sub>3</sub> -N/L 43.22 mg TAN/L・3.21 mg NH <sub>3</sub> -N/L 40.31 mg TAN/L・3.00 mg NH <sub>3</sub> -N/L	344)
<i>Penaeus paulensis</i> (クルマエビ科) 受精卵 ノープリウス	LC50	24 時間	(水温25°C・塩分28ppt) (pH8.02) 6.25 mg TAN/L・0.30 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH7.95) 102.30 mg TAN/L・4.25 mg NH <sub>3</sub> -N/L	346)
<i>Penaeus paulensis</i> (クルマエビ科) ゾエア ミシス ポストラーバ 稚仔エビ 成体エビ	LC50	96 時間	(水温25°C・塩分28ppt) (pH8.24) 9.39 mg TAN/L・0.73 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH7.92) 21.98 mg TAN/L・0.85 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH8.10) 5.49 mg TAN/L・0.32 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH7.78) 38.72 mg TAN/L・1.10 mg NH <sub>3</sub> -N/L (pH7.71) 42.49 mg TAN/L・1.06 mg NH <sub>3</sub> -N/L	346)
<i>Penaeus monodon</i> (ウシエビ) 稚エビ	LC50	24 時間 48 時間 72 時間 96 時間 120 時間 144 時間	(水温27°C・pH7.7・塩分20ppt) 94.96 mg TAN/L・2.68 mg NH <sub>3</sub> -N/L 61.09 mg TAN/L・1.73 mg NH <sub>3</sub> -N/L 47.47 mg TAN/L・1.35 mg NH <sub>3</sub> -N/L 45.58 mg TAN/L・1.29 mg NH <sub>3</sub> -N/L 38.00 mg TAN/L・1.08 mg NH <sub>3</sub> -N/L 36.71 mg TAN/L・1.04 mg NH <sub>3</sub> -N/L	340)
<i>Penaeus monodon</i> (ウシエビ) ポストラーバ	LC50(成長) 体重増加率半減 体長増加率半減	42 日間	(水温27°C・pH8.0・塩分25ppt) 1.14 mg TAN/L・0.060 mg NH <sub>3</sub> -N/L 3.48 mg TAN/L・0.183 mg NH <sub>3</sub> -N/L	341)
<i>Metapenaeus ensis</i> (ヨシエビ) 稚仔エビ	LC50	24 時間 48 時間 72 時間 96 時間 120 時間 144 時間 168 時間	(水温25°C・pH7.7・塩分25ppt) 89.30 mg TAN/L・2.19 mg NH <sub>3</sub> -N/L 71.90 mg TAN/L・1.76 mg NH <sub>3</sub> -N/L 61.36 mg TAN/L・1.50 mg NH <sub>3</sub> -N/L 35.59 mg TAN/L・0.87 mg NH <sub>3</sub> -N/L 23.25 mg TAN/L・0.57 mg NH <sub>3</sub> -N/L 11.84 mg TAN/L・0.29 mg NH <sub>3</sub> -N/L 8.80 mg TAN/L・0.22 mg NH <sub>3</sub> -N/L	345)
<i>Penaeus vannamei</i> (バナメイエビ) 稚エビ(平均体重0.99g)  稚エビ(平均体重3.8g)	LC50  LC50	24 時間 48 時間 72 時間 96 時間  48 時間	(水温26°C・pH8.08・塩分34ppt) 113.4 mg TAN/L 92.5 mg TAN/L 71.2 mg TAN/L 65.2 mg TAN/L  (水温23°C・pH7.70・塩分34ppt) 110.6 mg TAN/L	348)



		72 時間 96 時間	85.3 mg TAN/L 70.9 mg TAN/L	
<i>Penaeus setiferus</i> (ウシエビ属) ポストラーパーバ	LC50	24時間 48時間 72時間	(水温25°C・pH8.42・塩分30ppt) 11.55 mg TAN/L・1.49 mg NH <sub>3</sub> -N/L 9.38 mg TAN/L・1.21 mg NH <sub>3</sub> -N/L 8.69 mg TAN/L・1.12 mg NH <sub>3</sub> -N/L	349)
<i>Periophthalmodon shloseri</i> (オオトビハゼ)	LC50	24 時間 48 時間 96 時間	643 μM・NH <sub>3</sub> -N 556 μM・NH <sub>3</sub> -N 536 μM・NH <sub>3</sub> -N	357)
<i>Boleophthalmus boddarti</i> (ハゼ科)	LC50	24 時間 48 時間 96 時間	77.1 μM NH <sub>3</sub> -N 64.0 μM NH <sub>3</sub> -N 60.2 μM NH <sub>3</sub> -N	357)
<i>Nibea japonica</i> (オオニベ) 仔魚3日齢	LC50	24 時間	0.26 mg NH <sub>3</sub> -N/L	107)
<i>Sciaenops ocellatus</i> (ニベ科) 仔魚	LC50	24 時間 48 時間	(水温20°C・pH6.8-7.1・塩分4.0‰) 0.9±0.14 mg NH <sub>3</sub> -N/L 0.8±0.16 mg NH <sub>3</sub> -N/L	350)
<i>Pagrus major</i> (マダイ) 卵 仔稚魚(体重15.9-52.7mg)	LC50 LC50	48 時間 96 時間	(水温20°C・pH8.03-8.12・塩分34.26-34.46‰・ DO5.36-5.37ml/L) 6.6 - 7.0 mg TAN/L・0.79 - 0.88 mg NH <sub>3</sub> -N/L (水温21°C・pH8.11-8.19・塩分33.81-34.39‰・ DO5.17-5.29ml/L) 3.0 - 4.9 mg TAN/L・0.26 - 0.58 mg NH <sub>3</sub> -N/L	333)
<i>Sparus aurata</i> (タイ科) 稚魚	LC50	96 時間	(水温17.9°C・pH8.15・塩分34.5ppt) 3.7 mmol TAN/L・130 μM NH <sub>3</sub> -N/L	358)
<i>Acanthopagrus shlegeli</i> (クロダイ) 1日令 5日令 10日令	LC50	24 時間	(水温25°C・pH8.1・塩分30ppt) 29.90 mg TAN/L・1.66 mg NH <sub>3</sub> -N/L 10.83 mg TAN/L・0.60 mg NH <sub>3</sub> -N/L 12.26 mg TAN/L・0.86 mg NH <sub>3</sub> -N/L	351)
<i>Morone saxatilis</i> (スズキ目) 前期仔魚 後期仔魚(9~10日齢) 稚魚	LC50 LC50 LC50	急性 急性 急性	0.70 - 1.09 mg NH <sub>3</sub> -N/L 0.33 - 0.58 mg NH <sub>3</sub> -N/L 0.91 - 1.66 mg NH <sub>3</sub> -N/L	110)
<i>Dicentrarchus labrax</i> (ヨーロッパスズキ) 稚魚	LC50	96 時間	(水温17-18°C・pH8.15・塩分34‰・DO75%以上) 40 mg TAN/L・1.7 mg NH <sub>3</sub> -N/L	352)
<i>Sparus auratus</i> (ヨーロッパヘダイ) 稚魚	LC50	96 時間	(水温17-18°C・pH8.15・塩分34‰・DO75%以上) 57 - 59 mg TAN/L・2.5 - 2.6 mg NH <sub>3</sub> -N/L	352)
<i>Scophthalmus maximus</i> (カレイ目) 稚魚	LC50	96 時間	(水温17-18°C・pH8.15・塩分34‰・DO75%以上) 57 - 59 mg TAN/L・2.5 - 2.6 mg NH <sub>3</sub> -N/L	352)
<i>Pseudopleuronectes americanus</i> (カレイ目)	LC50	急性	0.492mg NH <sub>3</sub> -N/L	110)
<i>Scophthalmus maximus</i> (カレイ目) 稚魚	LC50	4 週間	0.95 mg NH <sub>3</sub> -N/L	356)
<i>Scophthalmus maximus</i> (カレイ目) 稚魚	LC50	96 時間	(水温17.9°C・塩分34.5ppt・pH8.15) 4.9 mmol TAN/L・174 μM NH <sub>3</sub> -N/L	358)
<i>Paralichthys orbignyanus</i> (ヒラメ科) 稚魚	LC50	24 時間 48 時間 72 時間 96 時間	(水温12°C・塩分0‰) (冬季・淡水) 237.37 mg TAN/L 142.34 mg TAN/L 109.92 mg TAN/L 97.14 mg TAN/L	353)
<i>Paralichthys orbignyanus</i> (ヒラメ科) 稚魚	LC50	24 時間 48 時間	(水温25°C・塩分30‰) (夏季・海水) 67.45 mg TAN/L 66.14 mg TAN/L	353)

		72 時間 96 時間	55.96 mg TAN/L 49.63 mg TAN/L	
<i>Salmo salar</i> (大西洋サケ) 成魚 平均体重430g	LC50	48 時間	(水温6.6°C・pH 7.50・塩分35%・DO7.4mg/L) 58.6 mg TAN/L・0.24 mg NH <sub>3</sub> -N/L	354)

上記の半数致死濃度等に関する知見の他に、クルマエビを24時間異なる全アンモニア濃度(0.004 – 1.476 mmol TAN/L)に曝露すると、全アンモニア濃度が高くなるほど、クルマエビ体液中のナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム等の電解質濃度が低下した<sup>347)</sup>。クルマエビ幼生のアンモニアの許容濃度は0.78～2.83 mg TAN/L (0.05～0.18 mg NH<sub>3</sub>-N/L) 以下<sup>339)</sup>、クルマエビ幼生のアンモニアの許容濃度は0.78～2.83 mg TAN/L (0.05～0.18 mg NH<sub>3</sub>-N/L) 以下<sup>339)</sup>との報告がある。*Mysidopsis bahia*(甲殻類アミ科)は32日間0.331 mg NH<sub>3</sub>-N/L暴露(pH 7.95・水温26.5°C・塩分30.5g/kg)により、生残率が35%減少するとともに体長の伸長も減少したとの報告がある<sup>110)</sup>。

オオニベの仔魚(1日齢)は0.027 mg NH<sub>3</sub>-N/L、2日間以上の曝露で成長率が低下した<sup>107)</sup>。マダイ仔魚(3日齢)は0.15 mg NH<sub>3</sub>-N/L 24時間(水温15.5～16.0°C・DO6.5～7.0mg/L・pH7.9～8.0・塩分34.0ppt)暴露により下顎軟骨組織の異常が生じたとの報告がある<sup>106)</sup>。*Scophthalmus maximus*(ヒラメ科)稚魚の成長低下の閾値は 0.11 mg NH<sub>3</sub>-N/L<sup>355)</sup>であった。そして、種苗生産水槽中の非解離アンモニアの最大値について、マダイ・ヒラメ・イシダイ・イシガキダイ・トラフグ・シマアジ仔魚では0.059 – 0.015 mg NH<sub>3</sub>-N/Lとの報告があるため、留意が必要である<sup>107)</sup>。

## 参考文献

- 53.1) U.S. EPA (2013): Aquatic life ambient water quality criteria for ammonia – Freshwater 2013.  
<https://www.epa.gov/wqc/aquatic-life-criteria-ammonia> (2020年1月現在)
- 53.2) U.S. EPA (1989): Ambient water quality criteria for ammonia (Saltwater)-1989. (引用文献<sup>110)</sup>と同じ)  
[https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/ambient\\_water\\_quality\\_criteria\\_for\\_ammonia\\_saltwater\\_-\\_1989\\_0.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/ambient_water_quality_criteria_for_ammonia_saltwater_-_1989_0.pdf) (2020年1月現在)
- 53.3) Bower, C. E. and J. P. Bidwell (1978): Ionization of ammonia in seawater: effects of temperature, pH, and salinity. *J. Fish. Res. Board Canada*, 35, 1012-1016. (引用文献<sup>113)</sup>と同じ)
- 53.4) Meade, J. W. (1985): Allowable ammonia for fish culture. *Progressive Fish-Culturist*, 47, 135-145.
- 53.5) Millero, F. J. (1986): The pH of estuarine waters. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 839-847.
- 53.6) Hampson, B. L. (1977): Relationship between total ammonia and free ammonia in terrestrial and ocean waters. *J. Cons. int. Explor. Mer* 37(2), 117-122.
- 53.7) Whitfield, M. (1974): The hydrolysis of ammonia ions in sea water – a theoretical study. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 54, 565-580.
- 53.8) 菊池幹夫・若林明子(1997): アンモニア汚染の環境リスク評価. 東京都環境化学研究所年報 1997, 143-148.
- 53.9) 恩地啓実・矢持進 (2011): 大和川下流域における稚アユの遡上阻害要因に関する研究—遊離アンモニアがアユ稚魚の生残に及ぼす影響—. *環境アセスメント学会誌* 9(2), 62-68.
- 106) Guillen, J. L. et al. (1993): *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 1231-1234.
- 107) Guillen, J. L. et al. (1994): *Fish. Sci.*, 60, 547-550.

- 108) U. S. EPA (2013): Aquatic life ambient water quality criteria for ammonia (freshwater) 2013
- 109) Kohn, N. P. et al. (1994): *Mar. Environ. Res.*, 38, 1-15.
- 110) U. S. EPA (1989): Ambient water quality criteria for ammonia (saltwater)-1989. PB89-1952411.
- 111) 沢田 健蔵 (1979): 徳島水試事報 (1977-1978), 46-49.
- 112) Emerson, K. et al. (1975): *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 32, 2379-2383.
- 113) Bower, C. E. et al. (1978): *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 35, 1012-1016.
- 230) Hooton, R. L. and R. S. Carr (1998): *Environ. Toxicol. Chem.*, 17, 932-940
- 330) Schubauer-Berigan, M. K. et al. (1995): *Environ. Toxicol. Chem.*, 14, 713-717.
- 331) Monda, D. P. et al. (1995): *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 28, 385-390.
- 332) Ankley, G. T. et al. (1995): *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52, 2078-2083.
- 333) 城戸勝利ほか(1991): 水産増殖 39 卷 4 号, 353-362
- 334) Manning, T. M. et al. (1996): *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 56, 971-976.
- 335) Marazza, D. et al. (1996): *Ecotox. Environ. Saf.*, 34, 103-108.
- 336) James, R. et al. (1995): *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 55, 187-194.
- 337) Bury, N. R. et al. (1995): *J. Fish. Biol.*, 46, 1042-1054.
- 338) Harris, J. O. et al. (1998): *Aquacult.*, 160, 259-272.
- 339) Chen, J. -C. et al. (1989): *J. Fish. Soc. Taiwan*, 16, 261-270.
- 340) Chen, J. -C. et al. (1990): *J. World Aquacult. Soc.*, 21, 300-306.
- 341) Chen, J. -C. et al. (1990): *J. Fish. Soc. Taiwa*, 17, 207-212.
- 342) Chen, J. -C. et al. (1990): *J. Fish. Soc. Taiwan*, 17, 59-63.
- 343) Straus, D. L. et al. (1991): *J. World Aquacult. Soc.*, 20, 128-133.
- 344) Kou, Y. -Z. et al (1991): *Aquacult. Fish. Manage.*, 22, 259-263.
- 345) Nan, F. -H. et al. (1991): *J. Fish. Soc. Taiwan*, 18, 41-46.
- 346) Ostrensky, A. et al. (1995): *Aquacult.*, 132, 339-347.
- 347) Chen, J. -C. et al. (1996): *Comp. Biochem. Physiol.*, 114C, 35-38.
- 348) Frias-Espericueta, M.G. et al. (1999): *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 62, 646- 652.
- 349) Alcaraz, G. (1999): *J. World Aquacult. Soc.*, 30, 90-97.
- 350) Wise, D. J. et al. (1989): *J. World. Aquacult. Soc.*, 20, 188-192.
- 351) Chou, Y. -H. et al. (1990): *J. Fish. Soc. Taiwan*, 17, 53-57.
- 352) Person-Le Ruyet, J. et al. (1995): *Aquacult.*, 136, 181-194.
- 353) Bianchini, A. et al. (1996): *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 56, 453-459.
- 354) Knoph, M. B. (1996): *Water Res.*, 30, 837-842.
- 355) Rasmussen, R. S. and B. Korsgaard (1996): *J. Expl. Mar. Biol, Ecol.*, 205, 35-48.
- 356) Person-Le Ruyet, J. et al. (1997): *Aquacult.*, 154, 155-171.
- 357) Peng, K. W. et al. (1998): *Fish. Physiol. Biochem.*, 19, 59-69.
- 358) Ruyet, J. P. L. et al. (1998): *Comp. Biochem. Physiol.* , 119A, 511-518.