

1. はじめに

生物は存在する環境に適したものが現存し一定の生物群集を構成している。したがって環境条件が異なれば当然
成員と個体数が増加する。生物に対する環境条件の変化としては、気温、水温、日照などの物理的なもの、有害
物質などの化学的なもの、天敵、帰化植物の移入などの生物学的なものなどが考えられ、富栄養化現象も閉鎖性
水域内でのリン、窒素などの栄養塩類の増加という環境条件の変化によって動、植物プランクトンや大型の動植物
の種と個体数が変化するという現象である。観測された生物の種と個体数という離散情報、すなわち異なる種と個体数
の分布の状態を数学的に表現するものとして情報エントロピーあるいは相対エントロピーがある。

本研究は湖沼および海域の植物プランクトンの種と個体数についての観測結果について求めた相対エントロピ
ーの富栄養化の評価の有用性を検討するとともに、植物プランクトンの分類学上の分歧に着目して分類階級間
の情報エントロピーの関係を検討したものである。

2. 情報エントロピーの性質と相対エントロピー

情報エントロピーは

表-1、植物プランクトンの分類学上の階級数

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \log p_i$$

で与えられるが、等確率 $p_1 = p_2 = \dots = p_s = 1/s$
のとき最大値 $H_{\max}$ とする。この最大情報エ
ントロピーと情報エントロピーの比

$$h = \frac{H}{H_{\max}}$$

を情報の相対エントロピーという（生態学では生
物集合体の平均さ（evenness）と呼ん
でいる。また、事象 $X(n_1, n_2, \dots, n_s)$ が AUB,

$A \cap B = \phi$ の条件を有する事象 $A(n_{a,1}, n_{a,2}, \dots, n_{a,k})$ と $B(n_{b,k+1}, n_{b,k+2}, \dots, n_{b,s})$ に分割さ
れるとき、それぞれの事象の情報エントロピー
の間には

$$H(p_1, p_2, \dots, p_s) = H(p_a, p_b) + p_a H(p_{a,1}, p_{a,2}, \dots, p_{a,k}) + p_b H(p_{b,k+1}, p_{b,k+2}, \dots, p_{b,s})$$

$$\text{そこで、 } p_a = \frac{A}{X}, p_b = \frac{B}{X}$$

の相加法則が成り立つ。したが
って表-1 の淡水植物プランク
トンの階級別情報エントロピーは

$$H_0 = H_C + \sum_{i=1}^N \frac{N_i}{N} H_{0i}$$

	Class	Order	Family	Genus	Species
Cyanophyceae	1	5	14	60	393
Glaucophyceae	1	1	1	2	3
Rhodophyceae	1	5	7	10	18
Phaeophyceae	1	1	1	1	1
Chrysophyceae	1	3	9	20	48
Xanthophyceae	1	4	10	18	46
Bacillariophyceae	1	6	16	40	217
Dinophyceae	1	3	5	9	35
Cryptophyceae	1	1	1	2	4
Chloromonadophyceae	1	1	1	3	4
Euglenophyceae	1	2	4	10	105
Chlorophyceae	1	11	36	149	1147
Total	12	43	105	324	2021

表-2、気仙沼湾における植物プランクトンの情報エントロピーと相対エントロピー

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
種数	9	8	8	7	8	11
個体数(%)	1750	3840	1840	1320	460	5220
H_s	0.470	0.233	0.517	0.492	0.764	0.259
h	0.261	0.130	0.287	0.273	0.425	0.144

表-3、霞ヶ浦における植物プランクトンの情報エントロピーと相対エントロピー

	1977							1978		
	6/3	7/2	8/4	9/3	10/3	11/3	12/3	1/2	2/3	3/3
種数	34	35	18	10	3	17	19	4	6	8
個体数(%)	1400	4600	1900	30780	46420	10840	16480	460	1160	1300
H_s	1.346	1.016	0.869	0.044	0.169	0.281	0.306	0.477	0.310	0.540
h	0.736	0.540	0.462	0.023	0.090	0.149	0.163	0.254	0.165	0.287

$$H_F = H_C + \sum_{i=1}^c \frac{N_i}{N} H_{O_i} + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^o \frac{N_{ij}}{N} H_{F_{ij}}$$

$$H_G = H_C + \sum_{i=1}^c \frac{N_i}{N} H_{O_i} + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^o \frac{N_{ij}}{N} H_{F_{ij}} + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^o \sum_{k=1}^f \frac{N_{ijk}}{N} H_{G_{ijk}}$$

$$H_S = H_C + \sum_{i=1}^c \frac{N_i}{N} H_{O_i} + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^o \frac{N_{ij}}{N} H_{F_{ij}} + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^o \sum_{k=1}^f \frac{N_{ijk}}{N} H_{G_{ijk}} + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^o \sum_{k=1}^f \sum_{l=1}^s \frac{N_{ijkl}}{N} H_{S_{ijkl}}$$

で表わされる。

表-3. 気仙沼湾植物プランクトンの情報エントロピーと相対エントロピー

3. 相対エントロピーによる評価

現存する植物プランクトンの種と個体数から求めた情報エントロピーによって水域の富栄養化の評価が可能である

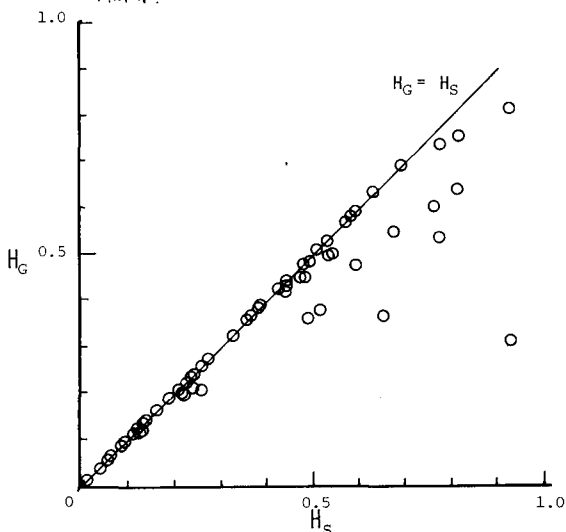
これは既に示した⁽¹⁾が、異なる水域で得られた値と比較する場合には富栄養化という観点からの絶対的な値が必要となる。この1方法として、植物プランクトンの分類学上の全種あるいは一定の物理条件で存在する可能性のある全種の個体数が均等に存在したとて求める最大情報エントロピー H_{max} が考えられる。この最大情報エントロピーが富栄養化の観点からの上限値である。表-1は「日本淡水プランクトン図鑑」⁽²⁾、「日本淡水藻類図鑑」⁽³⁾から求めた分類階級別の数を示したものであり、種段階からの H_{max} は 3.306 である。表-4 に 5 つの湖の相対エントロピーを示した。なお、表-2 は気仙沼湾の観測期間 (1980, 6/26 ~ 9/29) 中に存在した全種 (63 種)⁽⁴⁾ からの $H_{max} = 1.799$ による相対エントロピーを、表-3 には霞ヶ浦土浦入水道事務所沖 (1977, 6/3 ~ 1978, 3/3) の全種数 76 種からの $H_{max} = 1.881$ による相対エントロピーを示した。相対エントロピーが 0 に近いほど (支笏湖のような貧栄養湖を除いて) 富栄養化が進んでいることを示しており、富栄養化の評価指標として有用であることがわかる。

	支笏湖	本栖湖	中禅寺湖	湯沢湖	霞ヶ浦
年月日	78 6/21	77 8/31	77 8/7	77 8/6	77 9/3
H_S	0.283	0.671	0.642	0.423	0.044
h	0.086	0.203	0.209	0.194	0.013

表-4. 霞ヶ浦における植物プランクトンの階級別情報エントロピーの相関係数

	H_C	H_O	H_F	H_G	H_S
H_C	-	-	-	-	-
H_O	0.962	-	-	-	-
H_F	0.944	0.978	-	-	-
H_G	0.886	0.910	0.973	-	-
H_S	0.874	0.896	0.957	0.999	-

図-1 気仙沼湾における植物プランクトンの種および属段階の情報エントロピーの関係。



4. 分類階級における情報エントロピー

生物の多様性は原始的な生物が長い時間をかけて環境変化によって進化的岐化の結果として生じており、今後分類階級の末端の種の段階で形態変化するであろう。したがって種の段階での情報エントロピーが望ましいが、種の段階で分類し個体数を求めることは熟練と労力を要するため、より上位の分類階級で整理することが望ましい。表-5 に霞ヶ浦の観測結果に基づいて各段階での情報エントロピーの関係を示したが、霞ヶ浦では属の段階での分類でも十分評価できることがわかる。また図-1 には気仙沼湾の観測結果に基づいて種と属の段階での情報エントロピーの図表を示したが、属段階での分類でも十分であることがわかる。なお、海域の植物プランクトンの分類は十分に整理されていないためより上位の階級の情報エントロピーは求めない。

〔文献〕(1)、田井 他 (1979)、情報エントロピーと AGP による富栄養化の評価、国土公署研報告 6号、203~212、(2)、水野 (1977) 「日本淡水プランクトン図鑑」保育社、(3)、広瀬 他 (1977) 「日本淡水藻類図鑑」内田老鶴軒社、(4)、田井 (1981)、多様性指数と水質汚濁の富栄養化評価