

## 水道水とおいしい水

### —愛知県下の実態調査結果について—

#### 1 はじめに

水道の高度普及時代を迎えて、国民の水道に対する要求は多様化してきており、「安全な水道水」の供給に加えて「おいしい水道水」の供給が求められている。

おいしさの感じ方には個人差が大きく、気象条件や飲む人の体調等の様々な条件によって影響されるが、ほとんどの人が「おいしい」と感じる水質には一定の水質要件がある。厚生省のおいしい水研究会は昭和60年4月24日においしい水の水質要件を示した(表1)(愛知衛研技術情報, Vol. 10, No.2, 9-10, 1986)。

表1 おいしい水の水質要件と快適項目の  
おいしい水関連項目

項目	おいしい水の水質要件 (S. 60. 4. 24)	快適水質項目 目標値 (H. 4. 12. 21)
蒸発残留物	30~200 mg/ℓ	30~200 mg/ℓ
硬 度	10~100 mg/ℓ	10~100 mg/ℓ
遊離炭酸	3~ 30 mg/ℓ	20 mg/ℓ以下
過マンガン酸カリウム消費量	3 mg/ℓ以下	3 mg/ℓ以下
臭 気 度	3 以下	—
臭 気 強 度	—	3 以下
2-メチルイソボルネオール ジェオスミン	—	粉末活性炭処理 0.0002 mg/ℓ以下 粒状活性炭等恒久施設 0.0001 mg/ℓ以下
残留塩素	0.4 mg/ℓ以下	1 mg/ℓ程度以下
水 温	最高 20℃以下	—

おいしい水の水質要件の項目の内、蒸発残留物、硬度、遊離炭酸は水をおいしくする要件として示されている。これらの項目は水が自然界を移動する過程で土壌等に触れることにより水中に溶出してきた成分である。過マンガン酸カリウム消費量、臭気度、残留塩素は水をまずくする要件として示されている。過マンガン酸カリウム消費量、臭気度は主に水源の水質が汚濁することにより濃度が上昇する。水温は水をおいしく飲むための要件とし

て示されており、同じ水でも冷やして飲めばおいしく感じる場合が多い。しかしながら、一般に人は飲み慣れた水をおいしいと感じる傾向があり、おいしい水の水質要件に適合しなくてもその水が必ずしもおいしくないというものではなく、おいしい水の水質要件はおいしい水についての一応の目安を示したものである。

平成4年12月21日の水道法の水質基準改正に伴って快適水質項目が定められた。快適水質項目は遵守義務は無いが、おいしい水等のより質の高い水道水の供給を目指すための努力目標値として定められたものである。その中にはおいしい水に関連する項目が示されており、内容はおいしい水の水質要件とほぼ同じであるが、遊離炭酸が水道施設に対する腐食障害防止の観点から20mg/ℓ以下に、残留塩素は塩素消毒の安全性を考慮して1mg/ℓ程度以下に定められ、臭気度が臭気強度に変更されている。

おいしい水の水質要件が示されたことにより、愛知県においても多くのおいしい水に関する問い合わせが県民から寄せられた。そこで、環境衛生課からの依頼により、愛知県下の水道水についておいしい水に関する実態調査を行った。調査期間は平成2~4年度の各年度5~6月と9~10月であり、調査地点は愛知県下の各水道事業体の配水系統毎の給水栓171地点である。調査した171地点は愛知県下の全配水系統の約80%に相当する。おいしい水の水質要件との比較を行ったので、その結果について紹介する。

#### 2 調査結果

##### (1) 原水別のおいしい水の水質要件に対する適合率

今回調査した愛知県下全地点(n=171)についておいしい水の水質要件に対する適合率を求めると、蒸発残留物93.0%、硬度87.7%、遊離炭酸36.8%、過マンガン酸カリウム消費量98.8%、臭気度100.0%、残留塩素78.4%、水温53.2%であった。水道原水を地下水(n=88)、表流水(一部、伏流水を含む)(n=50)、混合水(地下水、表流水、浄水の2つ以上を混合して使用)(n=33)に区分して、原水別においしい水の水質要件に対する適合率を求めた

(表2)。

表2 原水別の適合率 (%)

項目	地下水 (n=88)	表流水 (n=50)	混合水 (n=33)
蒸留残留物	92.0	92.0	97.0
硬度	89.8	78.0	97.0
遊離炭酸	53.4	10.0	33.3
過マンガン酸カリウム消費量	100.0	96.0	100.0
臭気度	100.0	100.0	100.0
残留塩素	85.2	66.0	78.8
水温	51.1	70.0	33.3

水をおいしくする要件である硬度、遊離炭酸は表流水に比較して地下水の方がいずれも適合率が高かった。遊離炭酸は水にさわやかな味を与える重要な項目であるが、表流水では適合率が10%と顕著に低かった。水をまずくする水質要件である過マンガン酸カリウム消費量は表流水を原水としている2地点(3.1mg/l, 3.3mg/l)が水質要件に示されている3mg/lをわずかに超えていたのみであり、臭気度は全ての地点が適合していた。このように、原水の汚濁が原因で不適合となる地点は愛知県下ではほとんど存在しなかった。

残留塩素の適合率も表流水に比較して地下水の方が高い値を示したが、残留塩素は注入濃度を調節できる項目であり、水温は調査時の気温等の影響をうけるため一回だけの検査結果からは判定することが困難な項目である。水温と残留塩素を除いた5項目全てに適合していた地点は、地下水では47.7%、表流水では10.0%、混合水では27.3%であり、地下水の方が表流水よりも適合率が高いことが認められた。

蒸発残留物、硬度、遊離炭酸の各保健所毎の平均値を図1に示した。各項目とも三河山間部では低く、平野部では高い値を示しており、地域差が認められた。このことは、三河山間部では主に表流水や伏流水を原水としている地点が多いのに対して、平野部では地下水を原水としている地点が多いことによるためである。特に、遊離炭酸は三河山間部の表流水を原水としている地点では全て3mg/l未満であり、おいしい水の水質要件に適合していなかった。

(2) 地下水の水質組成と適合率の関係

地下水を原水としている地点が多い尾張北部～西部地域を、図2に示すようにA, B, C, Dの4地区に分けて水質組成と適合率の関係を検討した。地下水のみを原水としている地点はA地区13地点、B地区11地点、C地区6地点、D地区10地点である。

蒸発残留物、硬度、遊離炭酸が不適合となった地点数を地区毎に整理して表3に示した。蒸発残留物が不適合となったのはA, B地区であり、いずれも200mg/lを超えていた。硬度はA, B地区では各1地点が100mg/lを超えていたのに対してD地区では4地点が10mg/l未満であった。遊離炭酸はいずれの地区にあっても不適合となる地点が存在したが、C地区では不適合となった4地点全てが30mg/lを超えていたのに対して、D地区では不適合となった9地点全てが3mg/l未満であった。なお、過マンガン酸カリウム消費量、臭気度は各地区の全地点が適合していた。おいしい水の水質要件(水温と残留塩素を除く)5項目全てに適合する地点の割合はA地区69%(9地点/13地点)、B地区36%(4地点/11地点)、C地区17%(1地点/6地点)、D地区0%(0地点/10地点)であり、地区により大きな差が認められた。

地下水の主要成分はCa<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub>-N, Cl<sup>-</sup>である。今回の調査ではおいしい水に関連する項目の他に、水の性質を知るためにこれらの主要成分についても併せて調査した。地下水は滞水層中を移動する間に、土壌等からの溶出、還元、粘土成分とのイオン交換反応等をうけて水質が変化する。このことを水質的進化といい、一般的に進化にともなってpH値は上昇し、Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>は増加、NO<sub>3</sub>-N, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>は減少する。地下水の性質を知るための一つの方法として鍵座標図による方法がある。鍵座標図は総陽イオン中に占めるNa<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>の割合、総陰イオン中に

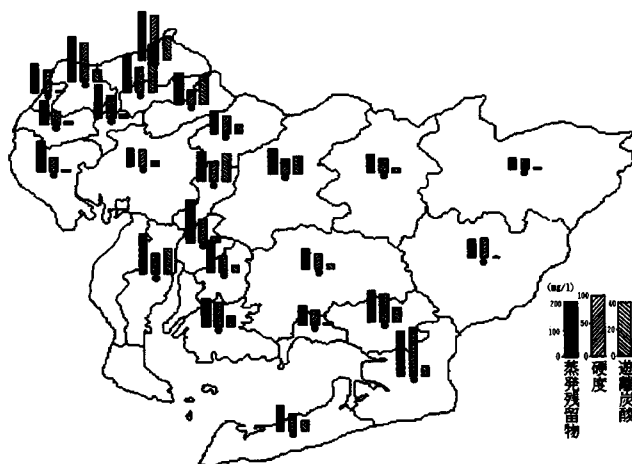


図1 愛知県下の蒸発残留物、硬度、遊離炭酸の濃度分布

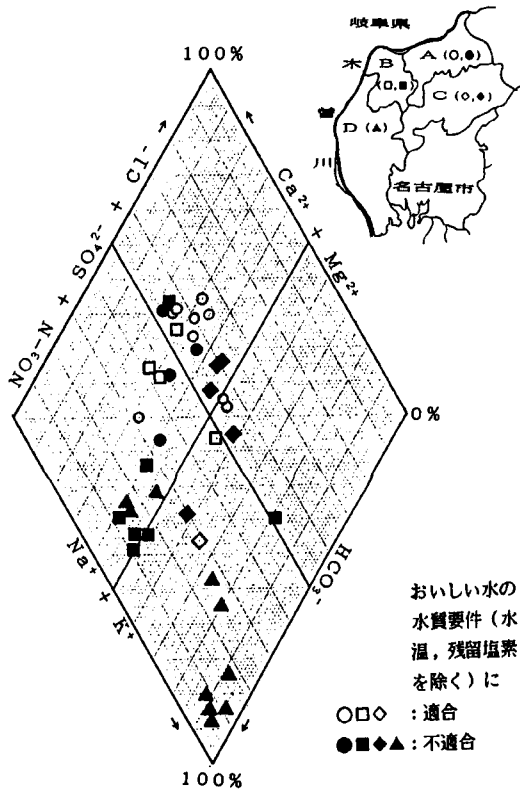


図2 尾張北部～西部地域の地下水を原水としている地点の鍵座標図

表3 蒸発残留物、硬度、遊離炭酸が不適合となった地点数(尾張北部～西部地域の地下水を原水としている地点)

項目	蒸発残留物		硬 度		遊 離 炭 酸	
	mg/l < 30	> 200	< 10	> 100	< 3	> 30
A地区 (n=13)	0	3	0	1	1	1
B地区 (n=11)	0	2	0	1	6	0
C地区 (n=6)	0	0	0	0	0	4
D地区 (n=10)	0	0	4	0	9	0

占める $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3\text{-N} + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ の割合をそれぞれ当量比の%でプロットすることにより作成することができる(愛知衛研技術情報, Vol. 4, No.3, 3-5, 1980)。水が進化するのともなって鍵座標図上の点が上から下に移動する。

各地区の水質組成を図2の鍵座標図に示した。この図からA地区の地下水(○, ●)は涵養後あまり進化していない地下水であるのに対して、D地区の地下水(▲)は進化した地下水であることがわかる。おいしい水の水質要件(水温と残留塩素を除く)に適合した地点を○、

◇で示してあるが、これらの適合した地点はあまり進化していない水質組成を示している。

### (3) 適合した地点と適合しなかった地点の水質の比較

地下水を原水としている地点(n=88)をおいしい水の水質要件(水温と残留塩素を除く)に適合した地点(n=42)と適合しなかった地点(n=46)の両グループに分け、おいしい水の水質要件以外の項目を比較した。pH値は両グループ間に差があり、適合したグループの方が有意(危険率 0.1%)に低い値を示した。このことは、表流水、混合水についても同様に認められた。先に述べたように遊離炭酸がおいしい水の水質要件の中で適・不適に最も大きく関与していたこと、水中での遊離炭酸の存在割合はpH値に支配されていることより考えればこのことは当然の結果といえる。また、地下水を原水としている地点においては適合したグループの方が電気伝導率、 $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ が高い値を示す傾向にあった。 $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ はともにあまり進化していない地下水中に高濃度に検出されることが多く、進化にともなってその濃度が減少していく項目である。このことから涵養後あまり進化していない地下水の方がおいしい水の水質要件に適合する割合が高いことが推察された。

### 3 おわりに

愛知県下の水道水についておいしい水に関する実態調査を行い、おいしい水の水質要件との比較を行った。

その結果、次のような結論が得られた。

①水をおいしくする要件の内では、遊離炭酸の適合率が最も低く、表流水を原水としている水道水では適合率が10%にすぎなかった。

②水をまずくする要件である過マンガン酸カリウム消費量と臭気度の適合率はそれぞれ98.8%、100.0%であり、原水の汚濁が原因で水道水がまずくなっている地点はほとんど存在しなかった。

③表流水を原水としている水道水に比較して、地下水を原水としている水道水の方が適合率が高かった。

④地下水を原水としている水道水の内では、涵養後あまり進化していない地下水を使用している水道水の方が適合率が高かった。

我国においても、近畿地方等の水道原水の汚濁が進行した地域では、おいしい水を供給するために高度浄水処理を取り入れている水道事業者があるが(愛知衛研技術情報, Vol. 15, No. 3, 4-5, 1991)、何よりも大切なことは水道水源の水質保全に努め、きれいな水道原水を確保することである。(生活環境部 富田伴一)

## ラン藻の毒 (II)

前号 (VOL. 18 NO. 2 1994) ではラン藻が生産する種々の毒素について概略を述べた。これらの毒素のうち世界各地で最も普遍的に検出される成分はマイクロシスチンであり、現在この化合物に対する関心は極めて高い。本号ではマイクロシスチンの生理作用についてまとめた。

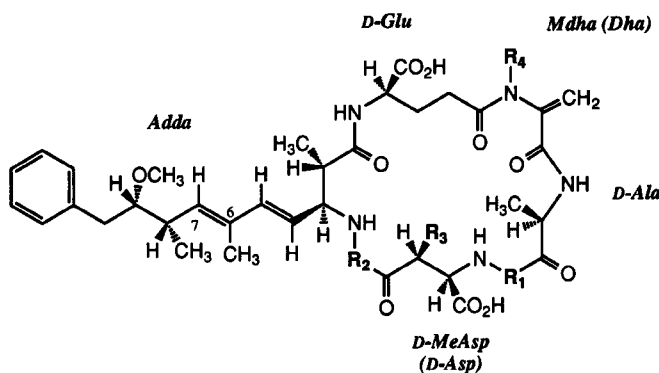
### 3. マイクロシスチンの生理作用

単離、精製したマイクロシスチンをマウスの腹腔内に投与した時のLD<sub>50</sub>値は70~600 μg/kgである。毒性は海洋天然毒であるテトロドトキシンやサキシトキシンより弱いものの、青酸カリよりはるかに強力である。現在までに、40を超えるマイクロシスチンの同族体や誘導体が単離、報告されており、構造と毒性 (腹腔内投与) の関係が明かになりつつある (図1)。まず、R1やR2のL-アミノ酸の違いにより3つのグループに分類される。LRやLAがきわめて強い毒性 (50-100 μg/kg) を、YRやWRが中程度の毒性 (100-400 μg/kg) を示すのに対し、RRやM(O)Rではかなりその毒性が減少する (400-800 μg/kg)。Mdhaやβ-Me-Aspにおける“デスメチル”体 (R3やR4) では

いずれも中程度の毒性を示す。Adda部分は生理活性に深く関与しているとされており、メトキシ基がアセチル基や水酸基に代わった誘導体の毒性はほとんど変わらないが、6, 7位の二重結合が異性化した誘導体 (6(Z)-Adda) はほとんど毒性を示さない。また、オゾン酸化でベンゼンを含む部分を開裂させた生成物も無毒である。さらに、興味深いことは2つの遊離のカルボキシル基のうちのGluのそれをエステル化すると毒性が完全に消失する。しかし、Mdhaの二重結合を還元あるいはグルタチオンなどを付加させてもその毒性は半分は減少する程度である。

マイクロシスチンを投与されたマウスは麻痺や四肢の先の貧血、呼吸障害などを起こし、1時間程で死亡する。直接の死因は出血性ショックと肝機能不全であり、肝臓が赤黒くうっ血し約1.5倍に肥大する。また、一部の類洞内皮細胞が破壊され、肝小葉の壊死が認められるが、他の臓器への影響はほとんど見られない。マイクロシスチンの肝臓への特異性は体内動態の面でも際だっている。生体内分布に関しては標識体を用いた研究がいくつか報告されているが、それによれば腹腔内投与されたマイクロシスチンの大部分は直ちに肝臓に取り込まれ、1週間ほどそこに滞留するといわれる。

マイクロシスチンは、生体内標的分子としてタンパク質脱リン酸化酵素プロテインフォスファターゼ1及び2Aが明らかにされており、いわゆるオカダ酸 (図2) クラス化合物の一つである。マウスの阻害肝細胞質の精製酵素に対する阻害活性はオカダ酸に匹敵する。阻害様式はオカダ酸で非競合型ないし混合型と推定されており、マイクロシスチンで



	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	MW
Microcystin-LR	Leu	Arg	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	994
Microcystin-LA	Leu	Ala	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	909
Microcystin-YR	Tyr	Arg	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	1044
Microcystin-WR	Trp	Arg	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	1067
Microcystin-RR	Arg	Arg	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	1037
Microcystin-M(O)R	Met(O)	Arg	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	1028
[Dha <sup>7</sup> ]microcystin-LR	Leu	Arg	CH <sub>3</sub>	H	980
[D-Asp <sup>3</sup> ]microcystin-LR	Leu	Arg	H	CH <sub>3</sub>	980

図1 マイクロシスチン類の化学構造

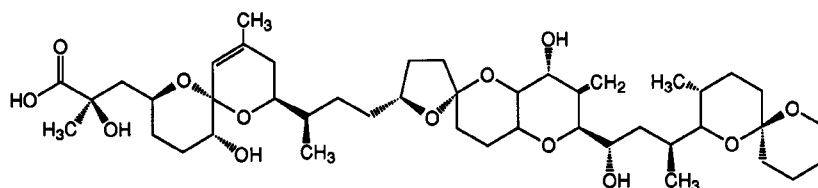


図2 オカダ酸の化学構造

も同様の可能性がある。オカダ酸で見いだされた多くの細胞への作用、例えば肝細胞や繊維芽細胞の形態変化がマイクロシスチンによって惹起されているが、肝細胞以外の細胞へは取り込まれにくいようである。また、クロイソ海綿由来のオカダ酸、チョコガタイン海綿由来のカリキュリンAなどオカダ酸クラス化合物は強力な肝臓癌促進物質（プロモーター）として知られている。受容体と同じであることからマイクロシスチンについても同様の結果が予想されたが、ジエチルニトロソアミンをイニシエーターとし、マイクロシスチンLRを腹腔内投与した実験などから証明された。

ところで、発癌プロモーターとしては、TPA クラス化合物がよく知られている。TPA (12-O-tetradecanoyl-phorbol-13-acetate、起源はトウダイグサ科のCroton tiglium L.の種子)、テロサイジン（起源は放線菌Streptomyces mediodicicus 及び海産ラン藻 Lyngbya majescula)などは、細胞内のタンパク質リン酸化酵素プロテインキナーゼCを特異的受容体としている。プロテインキナーゼCは ATPをリン酸基の供与体としてタンパク質のセリンないしスレオニン残基にリン酸化を行うことによって、細胞内の情報伝達機構に中心的役割を果たしている分子の一つで、この酵素の異常（異常な活性化も含めて）は様々な細胞機能の乱れとして現われてくる。細胞の癌化もその顕著なものと考えられる。これに対して、オカダ酸クラス化合物の受容体プロテインフォスファターゼ1及び2Aはタンパク質のセリンないしスレオニン残基に結合したリン酸基を特異的に切ることが知ら

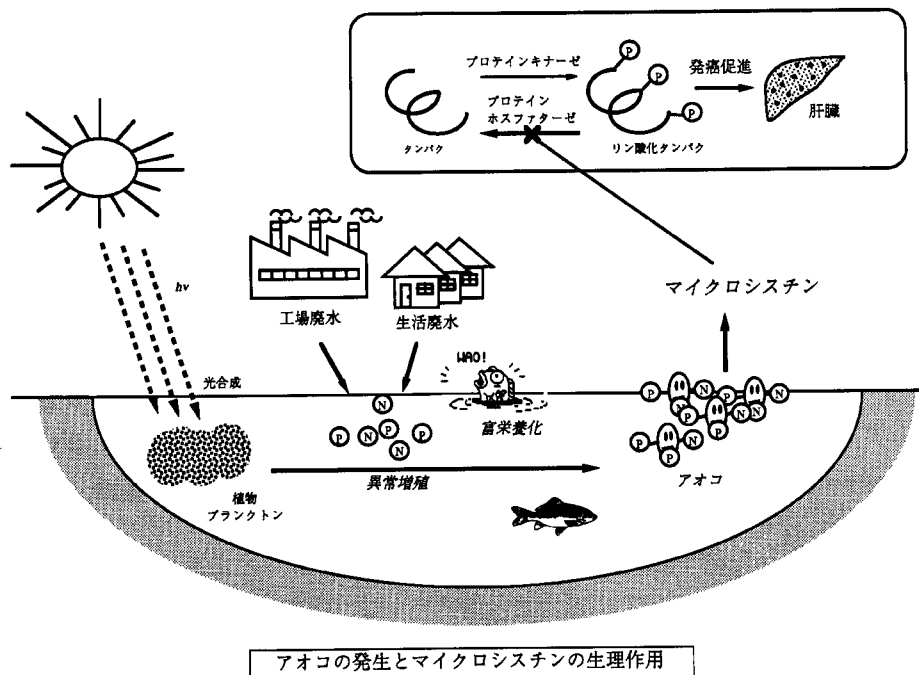
れ、この酵素の阻害によってリン酸化の促進と同じ結果をもたらすという点が特に興味深い。プロモーションの過程にどのタンパク質のリン酸化、あるいはリン酸化タンパク質の蓄積が重要な役割を担うのか解明が待たれる。

以上は、精製マイクロシスチンを用いた研究から見いだされた結果であるが、ラン藻自身あるいはラン藻の粗抽出物を用いた実験ではより多様で強い生理作用が観察されることが知られており、マイクロシスチン以外の物質の関与が考えられている。最近、マイクロシスチン以外のペプチドの単離が報告され、いずれも酵素阻害活性を有するといわれるが、マイクロシスチンとの共存の場合の生理活性などの検討は今後の検討課題である。また、肝毒性の発現メカニズムについても脱リン酸化酵素を阻害だけでは説明することができず、脱リン酸化の阻害から細胞傷害に至る分子レベルでのメカニズムの解明が必要であり、発癌プロモーションについても同様である。リン酸化される基質タンパクの同定とその機能の解明、ラン藻由来の物質だけでなく、毒性の発現過程で共同して働く、生体中に存在するあるいは産生される物質の解明が必要である。

#### 参考文献

- 1) 原田ら、水環境学会誌、17、545 (1994)。
- 2) 藤木博太、実験医学、8、1211 (1990)。
- 3) 渡辺真利代、原田健一、藤木博太編、アオコその出現と毒素一、東京大学出版会 (1994)。

(生物部 近藤 文雄)

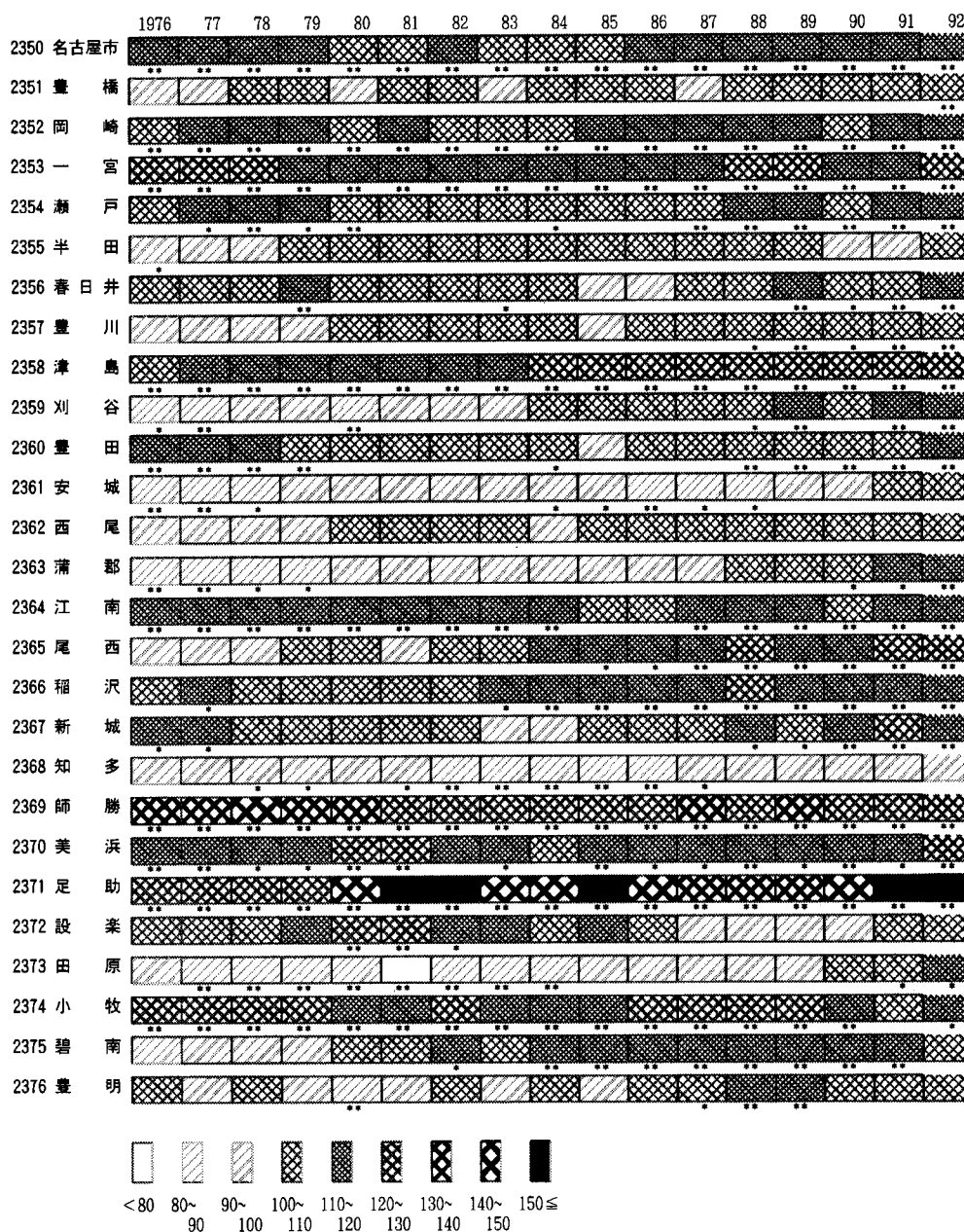


アオコの発生とマイクロシスチンの生理作用

# 地域特異性

## (1) 心疾患のSMRの経年変化

心疾患 [46, 50, 53]



### 【 説 明 】

この表は、過去21年間(1972~1992)の人口動態統計から、連続する5年間の死亡数及びその間に含まれる国勢調査年の性別5歳階級別人口を用いて標準化死亡比を算出し、結果を、その5年間の最終年にあたる年に表示した。また、全国死亡率比との比較には $\chi^2$ 検定を用い、危険率5%以下を有意とし\*、1%以下を\*\*で示した。なお、期待死亡率が30人以下の場合には Fisher の精密法を用いた。

(保健情報室)