

2. 純と不純の境目

感度以下の存在は無

西欧では人間の感じる基本的な味覚は酸っぱい、甘い、苦い、塩っぱいの4味と考えられてきましたが、日本では酸っぱい、甘い、苦い、塩っぱいのほかに旨いの味が加わっています。これらの酸っぱい、甘い、苦い、塩っぱい、旨いの味覚を感じさせる味覚物質が水溶液となって口の中に入り、舌の味覚を感知する部分に接触したときに味覚として感じられます。水は全く味覚物質の性質を持っていませんから何の味も感じませんが、これらの種々の味覚を感じさせる物質は水によく溶けますから、水に溶け込んでいる味覚物質の濃度が高いほど、舌の上の味覚を感じる部分と接触する確率が高くなり、味を強く感じるようになります。しかし、舌の上の味覚を感じる部分の数には限界がありますから、味覚物質の濃度がある値より高くなっても、より強い味覚を感じなくなって飽和してしまいます。

コーヒー豆は大きくアラビカとロブスタとリベリカの3種に分類されるアフリカ原産のコーヒーノキの種子で、コーヒーの味に大きく影響するクロロゲン酸やカフェインのほかに発芽に必要な糖分や蛋白質や脂質を多く含んでいます。このコーヒー豆を高温で焙煎してもカフェインはあまり変性しませんが、クロロゲン酸は図2-1に示すキナ酸とカフェ酸に分解しますから苦味や酸味が強くなります。さらに高温で焙煎しますとメイラード反応と呼ばれる熱分解反応が進行して、含まれる糖分と蛋白質がコーヒー独特の匂い成分に分解します。焙煎によるこれらの分解生成物はコーヒーメラノイジンと総称され、コーヒーの香りのもとになる揮発性成分としては約900種類の化合物が調べられています。中でもダマセノン、ギ酸スルファニルメチルブチル、メチオナール、フリルメタンチオール、フラネオール、ソトロン、グアイアコール、ビニルグアイアコール、エチルグアイアコール、バニリン、ジメチルエチルピラジン、ジエチルメチルピラジンなどの図2-1に構造を

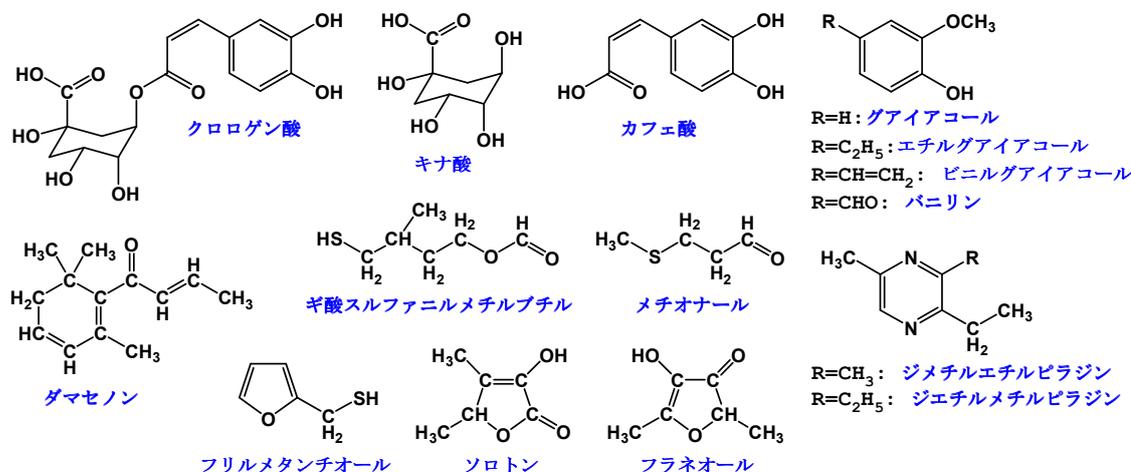


図2-1 コーヒーの香り成分

示した成分がコーヒーの香りを大きく特徴づけています。

砂糖を入れないブラックコーヒーは苦味ばかりでほとんど甘味を感じませんが、これに砂糖を加えますと苦味に甘味が加味されます。コーヒーの味にこだわるレストランや喫茶店では真っ白な砂糖ではなく若干褐色のコーヒーシュガーが用意されていますが、多くの食堂には真っ白な砂糖が2g入った袋入りの砂糖が用意されています。袋の中の全部の砂糖をコーヒーカップに入れますと多くの人が適度に甘く感じて満足しますが、甘い飲み物を好む人は2袋の砂糖を入れて甘いコーヒーを楽しみます。著者は若干甘過ぎるように感じますから、1袋の約半分ほど入れてコーヒーを楽しみます。入れる砂糖の量をもっと減らして、苦味が強くわずかに甘味を感じるほどにしたコーヒーが食後の甘いデザートには適しています。

甘味調味料の主役を務める砂糖はブラジルやインドやキューバなどの温暖な地域で栽培されているサトウキビから主に製造されています。サトウキビはイネ科の植物で、茎の部分に多くの砂糖を含んでいますから、裁断した茎から絞り出した汁を濃縮して砂糖を取り出していますが、その汁の中には砂糖のほかにゴミや繊維やリグニンやミネラルなどの多くの不純物が含まれています。ろ過や吸着や再結晶などの多くの精製工程を重ねて不純物の少ない砂糖が作られています。これらの精製過程で甘味以外の風味や香りも取り除かれてしまいます。そのため不純物の量や結晶の大きさなどにより、図2-2に示すように不純物の多い黒砂糖（図2-2の4）、不純物をほとんど含まない上白糖（図2-2の1）やグラニュー糖（図2-2の2）や氷砂糖（図2-2の3）、製造過程で砂糖が一部炭化したザラメ（図2-2の6）や三温糖（図2-2の5）やコーヒーシュガーなど種々の砂糖が市販されています。



図2-2 市販の各種の砂糖

全く味のない水に砂糖を加えた砂糖水は甘く感じられますし、砂糖を減らせば減らすほど甘さが弱くなり、砂糖の量と甘さの間には比例関係がみられます。さらに水に加える砂糖を減らしてゆき砂糖の濃度を0.61%（重量%）以下にしますと、もはや砂糖の甘味が平均的な人間には感じられ無くなると報告されています。この砂糖水の場合に砂糖は純粹の水に対して不純物に相当しますから、不純物の性質の強さはその含有量に比例することを意味しています。人間の感じる砂糖の最小濃度が砂糖に対する味覚の感度に相当し、含まれる砂糖がこれ以下の濃度では混在を感じられません。米国で販売されているケーキが一般的に甘さを強く感じさせますから、米国人は日本人よりも砂糖に対する味覚の感度が悪いのかもしれませんが、個人的にも、精神的にも、年齢的にも、民族的にも、季節的にも味

覚の感度には多少の違いがあります。言い換えれば、感度以下に混在する不純物は含まれていないことと同じ意味を持ちますから、不純物を含まない純粋な物質と考えることができます。不純と純の境目は絶対的ではありませんが、感度以下の存在は無を意味し、純はそこに含まれる全て不純物の存在が無の状態を意味します。

人工甘味料は砂糖の代用品

栄養として摂取した砂糖やでんぷんは酵素でブドウ糖に加水分解され、赤血球に結合した蛋白質に包み込まれ、脳や筋肉などのエネルギーを必要とする部位まで赤血球と共に移送されます。移送先でブドウ糖は酵素の働きで二酸化炭素まで酸化され活力となるエネルギーを供給します。このブドウ糖の移送と二酸化炭素までの酸化分解を制御するホルモンはインスリンと呼ばれる蛋白質で、健康な状態では脳や筋肉などの部位でエネルギーを必要とするときに、インスリンが分泌され、各部位の細胞までブドウ糖を必要に応じて移送します。インスリンの分泌異常の場合やインスリンが効果的に働かない場合や移送先でブドウ糖を細胞に受け渡すことが正常にできない場合には、血液中のブドウ糖の濃度が高くなり、移送先の部位でブドウ糖の不足が起こります。この疾患を糖尿病と呼び、各部位ではエネルギーが不足しますから、手先などに痺れを感じ、筋力が低下し、心臓の動きが不調になることもあります。また、脳にエネルギーが不足するために神経にも障害が起こりますから、眼の網膜症が発症することもあります。糖尿病患者の食事を改良するために、ブドウ糖を生成することなく甘味の味覚を与える砂糖の代用の物質が人工甘味料として用意されています。

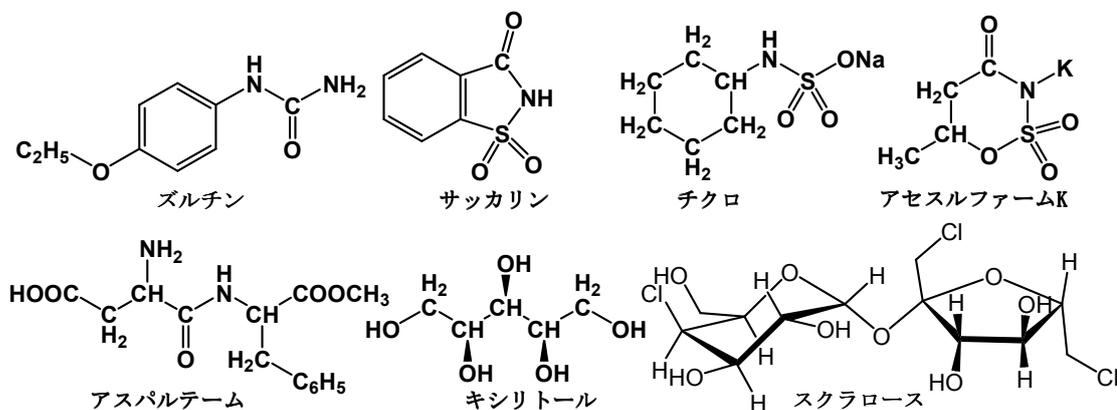


図2-3 人工甘味料の構造

第2次世界大戦直後の食糧難の時代に、日本国内では砂糖の供給が不足しましたが、そのときに甘味の味覚物質として、図2-3に示すような分子構造を持つズルチンとサッカリンが我が家の台所にも登場しました。ズルチンが大量に使用された時代もありましたが、肝臓障害や発癌の危険性があるために現在では使用禁止になってしまいました。サッカリンも発癌の危険性が仄めかされましたが、良く研究した結果人間に決定的な害毒を与えるものではないと結論付けられ、現在では人工甘味料として認可されています。

これらの薬品は甘味のほかに若干の苦味を伴いますので、その後種々の甘味の味覚物質が開発されました。チクロは砂糖に近い甘味を持ち、良く水に溶け、熱に安定なために、調理をしても甘味が変わりません。チクロは発癌性や催奇形性の疑いが持たれて日本と米国では使用が禁止されましたが、EU や中国では現在でも使用されているために、それらの地方からの食品の輸入において問題の発生することがあります。アスパルテームはアスパラギン酸とフェニルアラニンメチルエステルがペプチド結合した化合物で、体内ではほとんど代謝されずに排泄されてしまいますが、砂糖とは若干味わいが異なり、かなり加水分解しやすい欠点も持っています。フェニルケトン症を患う人にとってはフェニルアラニンを多く摂取することは良くありませんから、アスパルテームを多用することも良くありません。アスパルテームの甘味の味覚部分がアスパラギン酸の部分と考えられ、種々改良の研究がなされました。その結果、フェニルアラニンメチルエステルの代わりに、アラニンの誘導体でも砂糖の 100 倍程度の甘味を示すことが報告されています。

アセスルファム K はサッカリンと類似の部分構造を持つ人工甘味料で、若干苦味がありますが、耐熱性に優れています。キシリトールは糖質の一種ですが、水酸基以外に官能基を持たないため、微生物で醗酵しても酸性物質を代謝しません。甘味の強さはあまり優れていませんが、口の中に残っても歯を傷めることがありませんから、ガムなどには適した甘味料と考えられています。1970 年代のはじめに開発されたスクラロースはガラクトースの部分構造として結合した 8 つの水酸基の 3 つが塩素原子で置き換わった構造をしています。ガラクトースと異なりアミラーゼなどの消化酵素の影響を受けませんから、ほとんど人体に吸収できず栄養価のない極めて安定な甘味料です。砂糖の甘味を感じる最も希薄な水溶液の濃度は 0.61% ですが、スクラロースの甘味を感じる最小量は 0.0006% の水溶液ですから、甘味の効果が約 1000 倍強いと考えられます。濃度が高くなるとこの比率は若干低くなりますから、平均値としては 600 倍程度と考えられています。現在までにスクラロースは発癌性や毒性がほとんど確認されていませんから、安心して利用でき、しかもこのように強い甘味の性質を示しながら、その味わいは極めて砂糖に類似しています。

これらの人工甘味料は強い甘味の性質を示しますが、若干苦味や酸味などの味を伴うものもあり、砂糖とは異なる味わいを持っています。そのため少量の砂糖や果糖と併用して、味わい

表 2-1 甘味料の甘味の強さ

甘味料	甘味の強さ	
	重さ当たり	モル当たり
砂糖	1	1
ブドウ糖	0.74	1.4
果糖	1.73	3.3
ズルチン	250	475
サッカリン	400	748
アスパルテーム	180	209
チクロ	30	51
アセスルファム K	200	340
キシリトール	1.0	2.2
スクラロース	600	517

を砂糖に近いものに整えながらブドウ糖の生成を最小限にするように利用されています。糖尿病を患う人のためばかりでなく、栄養過多の人の健康食や肥満を気にする人のための美容食にも、人工甘味料が多く使われています。現在はサッカリンとアセスルファム K がその人工甘味料として多く使用されていますが、将来スクラロースが代表的な人工甘味料になるものと思われます。

このように近年開発された人工甘味料など種々の甘味料の甘味の強さと砂糖の甘味の強さを重量%濃度とモル%濃度により表 2-1 に比較しました。重量%濃度による比較は同じ重さの甘味料の甘さの比較ですから実生活において便利です。モル%濃度による比較は同じ分子数の甘味料の甘さの比較で、甘味料が接触したときに感じる味覚の強さ(感度)を示しています。甘味料の個々の性質により味覚を感じる部分との接触の仕方に違いがありますから、同じ数の同じような糖類が接触してもブドウ糖と果糖のように感じる感度は異なってしまいます。当然、感度以下に混在する物質は含まれていないことと同じ意味を持ちますから、個々の不純物の性質により同じ濃度を含んでいても、純粋な物質と考えられる場合もありますし、不純物が混在すると考えられる場合もあります。不純物の性質により **不純**と**純**の境目は異なり絶対的な濃度では表せません。

不純物の量に比例する種々の性質

古池に蛙が飛び込むとその部分の水が押しのけられますが、同時に押しのけられた水が周囲の水面を押し上げ、水面には凸凹の同心円状に水面の高低が生じます。水面より高い部分の水は周囲に流れ出しますから、高い部分の外側に高い部分が移動して波として伝搬してゆき、水面は元の状態に戻ります。この波の伝搬する速度の速い媒体では大きな円を描いて進みますが、速度の遅い媒体では小さな円を描いて進みます。ある線を境に波の伝播速度が遅くなる場合には図 2-4 に示すように、それぞれの描く円が小さくなりますから接線を結んだ包絡線は曲がり、波の進行方向も曲がってしまいます。

Maxwell は磁場と電場の立体的な関係を論理的に合理化し、光が通過する物質の誘電率を ϵ 、誘磁率を μ とするとき、光の

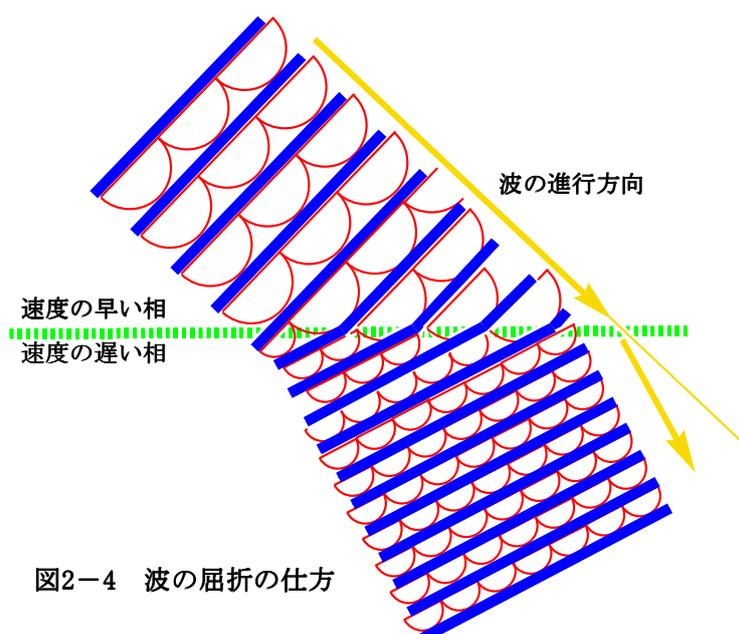


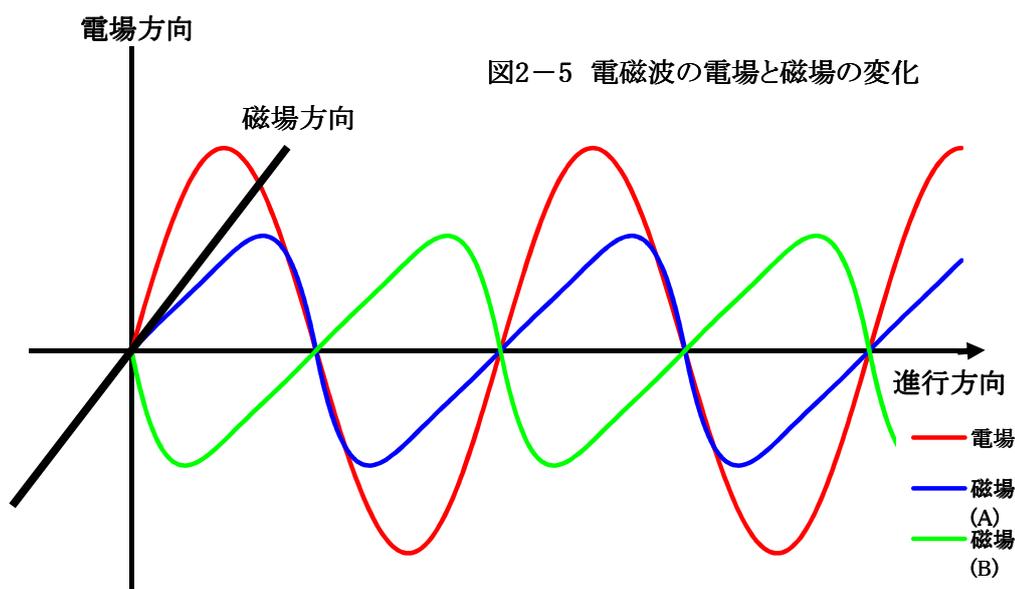
図2-4 波の屈折の仕方

伝播する速さ c が式 2-1 のような関係を持っていることを示しています。これらの誘電率も誘磁率も真空中では定数ですから、光の速さも定数の 299792458m/s となり 1 秒間に地球の周りを約 7 周半走ると概算されます。しかし大きな誘電率と誘磁率を示す物質の中ではその速度は遅くなります。分子の密度が小さいために誘電率も誘磁率も小さな空気中から光が水面を通過して密度が高い水の中に入る時には、式 2-1 に従い光の速度が遅くなりますから、図 2-4 のように水面で光の進行方向が曲がります。この現象を屈折といい、真空中に対する屈折の大きさを屈折率と呼んでいます。真空中の誘電率と誘磁率をそれぞれ ϵ_0 と μ_0 、光が通過する物質の誘電率と誘磁率をそれぞれ ϵ と μ としますと、屈折率 n は式 2-2 のように電磁波がそれぞれの物質中を伝播する速度の比で表されます。ただし、物質中の光の伝播速度は v とします。この誘電率も誘磁率は物質の密度や温度により変化しますから、屈折率もこれらの影響を受けます。

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \quad \text{式 2-1}$$

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\frac{\epsilon\mu}{\epsilon_0\mu_0}} \quad \text{式 2-2}$$

光がその振幅に比較して非常に狭い隙間しか持たない縞目状の物質の中を通過するときには、縞目に対して振動面の平行な光はこの物質を通過できますが、縞目に対して直交した振動面を持つ光は縞目に衝突してしまい通過することができません。当然、偏光と呼ばれる一方の振動面のみを持つ光波だけがこのような縞目を持つ物質を通過してきます。図 2-5 の赤線のように光は規則的に変化する波の運動をしながらエネルギーを伝播してゆ



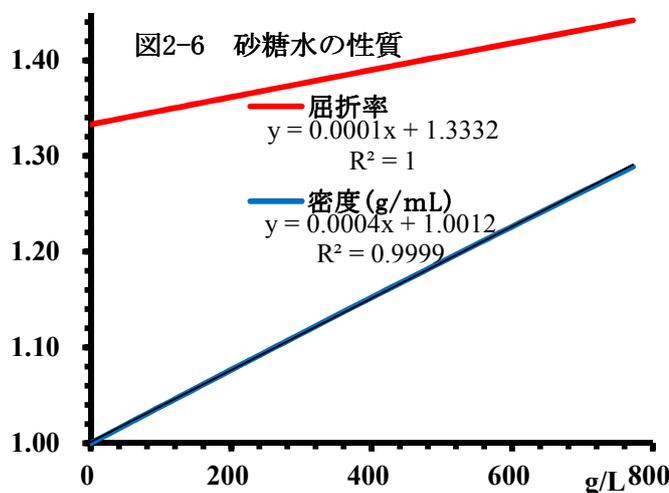
きますが、そのとき電場の変化に従って磁場が電磁誘導されます。ここで誘起される磁場の波の振動面は電場の波の振動面に直交し、周期は同期されています。しかし、光には正負の2種のスピン量子数があるために、電場の振動面に対して図2-5 (A) のように左に直交した磁場を誘起する光と、図2-5 (B) のように右に直交する光が同じ割合で混ざっています。そのため光束などのように光の波の集合した場合には電場が一方向に揃った偏光においても、磁場の振動面が左右互いに打ち消されて全体として磁場を示しません。

原子の内部では原子核の周囲に電荷を持った電子が動き回っていますから、原子もそれぞれ誘電率と誘磁率を示しますが、分子はそのような原子が様々な並び方で種々の組み合わせで集合しています。光は電場と磁場が周期的に変化する波の性質を持っており、大きな誘電率と誘磁率を示す物質の中ではその速度は遅くなりますが、分子の中の誘電率と誘磁率が異なりますから分子の中で光が屈折して曲がります。光には正負の2種のスピン量子数があるために、電場の振動面に対して左に直交した磁場を誘起する光と右に直交する光が同じ割合で混ざっており、電場の振動面が一方向に揃った偏光の場合にも、磁場の振動面が左右同じ割合で混ざっています。このような左右同じ割合で磁場の振動面を持つ偏光が分子内に対称性を持たない分子の中を通過するときには、磁場が左の振動面を持つ光と右の振動面を持つ光では誘起される誘電率にも誘磁率にも違いが生じます。そのために両方の光では屈折率に違いが生まれますから、偏光の電場の振動面が回転してしまいます。この現象を旋光といい、分子内に対称性を持たないために旋光を引き起こすこのような物質を光学活性物質と呼び、この光学活性物質の密度が高いほど大きな旋光能を示します。

物質を水に溶かしますと水溶液の重さは水の重さと溶かし込む物質の重さの和になりますから、水溶液の重さは溶かし込む物質の重さに比例します。また、水溶液中では水と物質の間に一定の相互作用が働きますから、水溶液の体積は物質の量に比例して変化します。物質の重さとその体積の割合が物質の密度(あるいは比重)を意味し、メートル法に基づいて4°Cの水の密度を1g/mLと標準化していますから、水溶液の密度も溶かし込む物質の重さに比例します。当然、砂糖を純粋の水に溶かすときには、砂糖の量が多くなるほど砂糖水の密度は変化します。実際報告

されている砂糖水の濃度とその密度の関係を図 2-6 に赤色線で示しますが、極めて良い比例関係が認められます。

全ての物質が示すこれらの屈折率や密度や旋光度などの物理量はそれぞれ物質固有の値を示しますが、屈折率も旋光度も物質の密度に比例する物理的な性質ですから、これらの物理量にも加



成性が成り立ちます。実際、図 2-6 には砂糖水の濃度とその屈折率の関係を青色線で合わせて示すように、砂糖水のこれらの物理量も濃度に比例します。

純粋の水に対して不純物となる砂糖の量が増えると、密度や屈折率や旋光度などの物理量の変化する関係があり、このように物理量が不純物の量に比例する傾向は種々の純粋な物質と不純物の多くの場合に認められます。しかも密度や屈折率が 0.001%(10ppm)の差を意味のある優位の値として測定できますから、0.001%の不純物の存在が検知できます。0.61%の感度をもつ甘さの味覚と比較しますと、密度や屈折率を用いた測定法の感度は約 500 倍と見積ることができます。同じ濃度の不純物を含んでいても測定法を変えますと、**純と不純**の境目も大きく変化します。

糖度は甘さの目安に過ぎない指標

水に溶け込んでいる砂糖の濃度が高いほど、舌の上の甘味を感じる部分と接触する確率が高くなり、甘味を強く感じるようになります。しかし、味覚の感度は個人的にも、精神的にも、年齢的にも、民族的にも、季節的にも多少の違いがあります。その上、砂糖の濃度がある値より低い時には甘味が感じられませんが、舌の上の甘味を感じる部分の数には限界がありますから、濃度が高くなってもより強い味覚を感じなくなって飽和してしまいます。味覚と比較して、密度や屈折率や旋光度は安定した高い感度を持っていますし、広い濃度領域にわたり砂糖水の濃度に対して高い比例関係が認められますから、砂糖の濃度を正確に定量的に測定することができます。

Brix は針金の伸び縮みやアルコールの濃度の測定など種々の測定法の研究をしましたが、その一環として砂糖水の甘さの測定法も研究し、砂糖水中の砂糖の重量%濃度を Brix 値と定義して砂糖の純度や砂糖水の甘さを表す指標としました。この定義により溶液 100g 中に 1g の砂糖が含まれる砂糖水は Brix 値 1%に相当しますし、250g の砂糖を 1L の水に溶かしますと Brix 値 20%の砂糖水を作ることができます。主に砂糖を取り扱う企業や研究機関では Brix 値を測定する糖度計に屈折計を改良し、得られる Brix 値を砂糖の純度や砂糖水の甘さを表す糖度として便利な指標にしました。

コーヒー豆は味に大きく影響するクロロゲン酸やカフェインのほかに発芽に必要な糖分や蛋白質や脂質を多く含んでいます。このコーヒー豆を高温で焙煎しますと、カフェインはあまり変性しませんが、クロロゲン酸はキナ酸とカフェ酸に分解しますから苦味や酸味が強くなります。さらに高温での焙煎による熱分解でコーヒーの香りのもとになる揮発性成分としては約 900 種類の化合物が生成してきます。コーヒーは純粋の水に多くの種類の苦味や香りの成分が不純物として含んでいますが、さらに砂糖を加えますと苦味や香りのほかに甘味も加味されます。このように水に 2 種類以上の物質が溶けた混合水溶液では、溶けている全ての物質と水の重さの総和が水溶液の重さに相当します。また、水が圧倒的に多く存在するために、それぞれの物質と水の間で独立に相互作用しますから、それぞれの物質の濃度に比例して水溶液の体積は変化します。言い換えれば、2 種類以上の物質が

溶けた混合水溶液の密度は、それぞれの物質に由来する密度の総和になり加成性が認められます。屈折率や旋光度が密度に依存する物理量ですから、これらの物理量も個々の濃度に比例し、全ての物質の物理量には加成性が成り立ちます。

屈折率をもとにした糖度計は極めて軽便な測定器で簡単に糖度を測定できますから、果物や野菜の汁を糖度計に入れて糖度を測ることに利用されるようになりました。この糖度は甘さを示す指標ですから、近年スーパーマーケットの青果物売り場などでは果物や野菜の甘みを示す値として表示するようになっていています。しかし、屈折率の値をもとにしたこの糖度計は砂糖水中の砂糖の濃度を測定することに特化した測定器で、固有の屈折率を持つ他の物質が含まれる溶液の糖度測定に利用すると、それらの全ての成分の物理量の総和として測定されてしまいますから、この糖度計による砂糖の糖度の測定には本来適当ではありません。果物や野菜の汁には砂糖ばかりでなく果糖やブドウ糖などの種々の糖類、クエン酸や酒石酸などの酸類などが含まれていますから、この糖度計で測定した糖度の値には果糖やブドウ糖などの糖類のほかに酸類の影響が現れてくると考えられます。さらに、熟しますと果物の糖類は発酵しますから一部エタノールに変化してゆきます。

これらの糖類と酸類とエタノールと食塩のそれぞれ 2 種の濃度の水溶液について、報告されている屈折率の値を表 2-2 に掲げておきます。糖度が屈折率の値をもとに算出されていますから、これらの物質の 2 種の濃度溶液の屈折率から糖度を見積もり表 2-2 に併せて掲げました。ここに掲げた 3 種の糖類の屈折率は偶然にも極めて近い値を示していますから、糖度計でこれらの 3 種の糖類の濃度は測定で

きます。しかし、表 2-1 に掲げたように砂糖と果糖とブドウ糖の甘味の味覚の感度が異なりますから、表 2-2 に合わせて掲げたように同じ糖度でも味覚で感じられる実質的な甘さには差があります。

また、酸類やエタノールや食塩などの水溶液も屈折率を示しますから、屈折率をもとにした糖度計で当然糖度は 0 ではありません。しかし、甘さ感度を示

表 2-2 糖類の糖度と屈折率と甘さ

物質名	g/L	屈折率	糖度	甘さ感度	実質甘さ
砂糖	10	1.3344	1.0	1.00	1.0
	100	1.3473	10.2		10.2
果糖	10	1.3344	1.0	1.75	1.8
	100	1.3471	10.1		17.7
ぶどう糖	10	1.3344	1.0	0.74	0.7
	100	1.3471	10.0		7.4
エタノール	10	1.3335	0.4	0.00	0.0
	100	1.3391	4.4		0.0
クエン酸	10	1.3343	0.9	0.00	0.0
	100	1.3456	9.0		0.0
酒石酸 Na	10	1.3346	1.1	0.00	0.0
	100	1.3487	11.2		0.0
食塩	10	1.3347	1.2	0.00	0.0
	100	1.3494	11.7		0.0

しませんから実質の甘さを感じないと思われます。果汁に含まれる糖類の成分比がそれぞれ果物の種類により異なり、クエン酸や酒石酸などの酸類が含まれますし、収穫後の時間の経過による果汁中の糖類の発酵によりエタノールが生成しますから、同じ糖度の果物でもぶどうや、リンゴやみかんなどの果物の種類やその新鮮さの違いにより、感じる実質の甘さが異なってくると思われます。

酸類やエタノールは甘さを感じませんが屈折率では糖度を示します。これに対して果糖やブドウ糖は糖度計でも味覚でも甘さを示します。これらの糖類や酸類やエタノールなどは糖度を測定するときに妨害物質として働きますから、青果売り場に表示されている糖度の値は果物の甘さをしめす目安に過ぎません。種々の測定法で不純物の存在を測定するとき、他の不純物の妨害物質としての働きも異なりますから、他の不純物の存在で**純**と**不純**の境目が揺らぎます。

宇宙を形作る全原子数は無量大数

錬金術に量的な考え方が取り入れられて化学という学問に進化した 19 世紀の初めに、水素や炭の燃焼や塩素と水素の反応などの気体の関与する反応から、Gay-Lussac は「気体の反応物と生成物の体積の比は、簡単な整数比で表される」という化学の基本となる法則を見出しました。さらに、Avogadro は原子量や分子量の概念に基いて「気体の種類に関わらず同じ体積中には同じ数の気体分子が含まれる」という仮説を唱えました。その後、Loschmidt が水に不溶な乳香と呼ばれる樹脂の一定の大きさの細粒を水に懸濁して、その浮力と重力の平衡状態から 0°C、1 気圧の 1cm³ の体積中に含まれる気体分子の数を 2.6869×10¹⁹ 個と見積もりました。

物質の分子量の数字に g (グラム) をつけた質量に含まれる物質量を 1mol (モル) とし、て当初は定義されましたが、現在では、モルは 12g の ¹²C (質量数 12 の炭素原子) の中に存在する原子の数と等しい数の原子や分子の物質質量と定義されています。このモルの概念は日常生活に適応した物質質量ですし、化学反応を理解する上で極めて便利のため、Loschmidt 数として見積もられた 0°C、1 気圧の 1cm³ の体積中に含まれる気体分子の数から、1mol の物質に含まれる分子の数に換算して Avogadro 定数と呼ばれる物理定数にしました。その後、種々の測定法により精度が向上して、現在では国際的な科学技術データ委員会で Avogadro 定数は 6.022 141 29× 10²³ mol⁻¹ と決定されています。水蒸気 22.4L や水 18.0g や砂糖 342.3g や食塩 58.5g は 1mol に相当しますから、それぞれ 6.02×10²³ 個の分子を含んでいることを意味します。

この Avogadro 定数のように大きな数字に対して中国と西欧ではかなり異なる考え方を持っているようです。西欧では 1000 の 1000 倍は Million (10⁶) という単位で表していますが、この Million は、ラテン語で 1000 を意味する「mille」の末尾が「one」と語形変化した「millione」が語源とされていたようで 1000 の 1000 倍と考えられていたのではないのでしょうか。その Million の 1000 倍は 1000 を 2 回 1000 倍するという意味でラテン語の 2 を意味

表 2-3 中国と西欧の数字の違い

中国の数		西欧の数	メートル法接頭語	
万	10^4			
	10^6	Million	メガ(mega)	ギリシャ語の大きい
億	10^8			
	10^9	Billion	ギガ(giga)	ギリシャ語の巨人
兆	10^{12}	Trillion	テラ(tera)	ギリシャ語の怪物
	10^{15}	Quadrillion	ペタ(peta)	ギリシャ語の 5
京(けい)	10^{16}			
	10^{18}	Quintillion	エクサ(exa)	ギリシャ語の 6
垓(がい)	10^{20}			
	10^{21}	Sextillion	ゼタ(zetta)	イタリア語の 7
穄(じょ)	10^{24}	Septillion	ヨタ(yotta)	イタリア語の 8
	10^{27}	Octillion		
穰(じょう)	10^{28}			
	10^{30}	Nonillion		
溝(こう)	10^{32}			
	10^{33}	Decillion		
澗(かん)	10^{36}	Undecillion		
	10^{39}	Duodecillion		
正(せい)	10^{40}			
	10^{42}	Tredecillion		
載(さい)	10^{44}			
	10^{45}	Quattuordecillion		
極(きょく)	10^{48}	Quindecillion		
	10^{51}	Sexdecillion		
恒河沙(ごうがしゃ)	10^{52}			
	10^{54}	Sepyendecillion		
阿僧祇(あそうぎ)	10^{56}			
	10^{57}	Octodecillion		
那由他(なゆた)	10^{60}	Novemdecillion		
	10^{63}	Vigintillion		
不可思議(ふかしぎ)	10^{64}			
無量大数(むりょうたいすう)	10^{68}			

する Bi を付けた Billion (10^9) という単位で表しています。さらにその 1000 倍、そのまた 1000 倍というように数字が大きくなるにつれて、ラテン語の 3 回、4 回、5 回…を意味する Tri、Quadri、Quinti…を付けて Trillion (10^{12})、Quadrillion (10^{15})、Quintillion (10^{18}) の単位としています。このような数の様式は指数関数ですから、無限に大きな数も表すことができますが、その数は無名数で哲学的な意味を持ちません。表 2-3 には 10^{63} までの大きな数を掲げましたが、その接頭語となるラテン語の数詞を赤字で示しておきました。メートル法も西欧の文化を基礎に制定されたものですから、表現は異なりますがその数の様式は極めて類似しています。

これに対して中国は全ての物事に文字を作り、それに個々に意味を持たせてゆく文化を持っていますから、十、百、千、万に続いて万の 10000 倍を億に、億の 10000 倍を兆というように個々の単位が作られています。この中国の数の様式では 4 桁ごとに単位を作らなければなりませんから、無限に大きな数を表すことはできませんが、意味のある文字を当て嵌めることができます。 10^{64} は考えることができないほど大きな数ですから不可思議という単位が作られ、 10^{68} ではもはや数えることができないほど大きな数ですから無量大数という単位が作られました。

Avogadro 定数は著者にとって想像を絶する大きな数字で実感を持つことができませんので、手元にある理科年表を繰りましたところ、地球の体積と地球の質量がそれぞれ $10.8 \times 10^{23} \text{L}$ と $59.74 \times 10^{23} \text{kg}$ と比較的近い数字で表されていました。80 日で世界一周ができるか否か賭け事になった時代とは違い、ジェット旅客機の進歩で地球が小さく感じられるようになった現代といっても、1 日 24 時間では 1 週の旅ができないほど地球は大きいと思えますから、Avogadro 定数が如何に大きな数か想像できます。

水素が 86%以上を占める太陽系の元素組成とその構成元素の原子量から求めた太陽系を構成する全原子の平均原子量が 1.45 ですから、この平均原子量と太陽系の質量から太陽系を構成する全ての原子が $1.37 \times 10^{33} \text{mol}$ と算出されます。さらに Avogadro 定数を考慮しますと、太陽系を構成する全ての原子の数は 8.27×10^{56} 個と計算されます。さらに、地球からは太陽のような星の存在が約 2×10^{11} 個確認されていますから、1.7 無量大数 (1.7×10^{68}) 個の原子が地球で確認しうる全宇宙に存在していると概算できます。最小単位とも思える原子が種々様々に集合してできた物質で我々を取り巻く全宇宙は構成されていますが、それらの構成する全原子数が無量大数ですから、無量大数より大きな数は現実的にも哲学的にも意味のないものと仏教哲学では考えられたようで用意されていません。数は無限と思われませんが古代中国の思想では有限のようで、その外にあるものは意味を持たないようです。

不純物の濃度が 1 涅槃寂靜で絶対的な純粋

我々にとって十分に大きな地球の表面の 70.8%は海で覆われていますから、海の水も Avogadro 定数に近い $13.5 \times 10^{23} \text{g}$ と見積もられています。100g の水に不純物 1 分子が溶け込んだときには、地球上の全海水に対して約 0.4mol の不純物を流し込んだ時の不純物の濃度

に相当します。分子量 342.3 の砂糖の場合には、123g の砂糖を地球上の全海水に溶かした濃度と見積もれますので、その重量%濃度は $9.1 \times 10^{-21} \%$ となります。このように小さな値も日常生活ではほとんど出会うことがなくあまり馴染がありません。

割合を表す数も表 2-4 に纏めておきましたが、西欧と中国では思想的、哲学的に大いに異なります。西欧では分数で表すことが多く、最もよく使われている% (per cent) は日本語では百分率といい 100 を意味する cent と対するを意味する per に由来していますから、分母を 100 とした時の分子の値で表します。例えば、本体価格 100 円の商品の消費税 8% は 8 円になります。また、‰ (permil) は 1000 に対する割合ですから、0.1% が 1‰ に相当しま

表 2-4 中国と西欧の割合の違い

中国の数字		西欧の数字	メートル法接頭語	
分(ぶ)	10^{-1}		デシ(dec)	ラテン語の 0.1
厘(釐)(りん)	10^{-2}	percent(%)	センチ(centi)	ラテン語の 100
毛(毫)(もう)	10^{-3}	permil(‰)	ミリ(milli)	ラテン語の 1000
糸(絲)(し)	10^{-4}			
忽(こつ)	10^{-5}			
微(び)	10^{-6}	ppm, part per million	マイクロ(micro)	ギリシャ語の小さい
纖(せん)	10^{-7}			
沙(しゃ)	10^{-8}			
塵(じん)	10^{-9}	ppb, part per billion	ナノ(nano)	ギリシャ語の小人
埃(あい)	10^{-10}			
渺(びょう)	10^{-11}			
漠(ぼく)	10^{-12}	ppt, part per trillion	ピコ(pico)	イタリア語の小さい
模糊(もこ)	10^{-13}			
逡巡(しゅんじゅん)	10^{-14}			
須臾(しゅゆ)	10^{-15}	ppq, part per quadrillion	フェムト(femto)	デンマーク語の 15
瞬息(しゅんそく)	10^{-16}			
彈指(だんし)	10^{-17}			
刹那(せつな)	10^{-18}	part per quintillion	アト(atto)	デンマーク語の 18
六徳(りつとく)	10^{-19}			
虚空(こくう)	10^{-20}			
清浄(しょうじょう)	10^{-21}	part per Sextillion	ゼプト(zepto)	ギリシャ語の 7
阿頼耶(あらや)	10^{-22}			
阿摩羅(あまら)	10^{-23}			
涅槃寂靜(ねはんじゃくじょう)	10^{-24}	part per Septillion	ヨクト(yocto)	ギリシャ語の 8

す。さらに小さな割合を意味する ppm や ppb や ppt はそれぞれ part per million や part per billion や part per trillion の頭文字をとったもので分母を 10^6 や 10^9 や 10^{12} とする時の分子の値を意味します。あまり実用的ではありませんが、この様式に従えば水 100g 中に 1 分子の砂糖を溶かした砂糖水の濃度は 91part per Septillion と表現することになります。西欧ではこのように意味を持たない無名数に対する割合で表していますから、無限に小さな数も表すことが出来ますが、全く哲学的意味を持たない無名数です。

これに対して、大きな数を表す数の様式と同じように中国の割合を表す数の様式は個々に意味を持った文字が用意されています。0.1 は 1 個の物を分けるという意味で 1 分、1% は 1 厘、0.001 は羽毛のように軽いという意味から 1 毛で表しています。しかし江戸時代に割という単位が分と混同して使われるようになり、現代の日本では 0.1、0.01、0.001、0.0001 をそれぞれ割、分、厘、毛と使われています。そのため、2001~2012 年までシアトルマリナーズで活躍したイチローは 7858 打数 2533 安打で打率が本来は 3 分 2 厘 2 毛 3 糸ですが、3 割 2 分 2 厘 3 毛と報道されています。表 2-4 に示すように中国の数の様式ではさらに種々の単位が割合に対して用意されていますので、1 分子の物質は Avogadro 定数の逆数となりますから、1.66 涅槃寂靜 (1.66×10^{-24}) mol と表されます。また、水 100g 中に 1 分子の砂糖を溶かした砂糖水の濃度は 91 涅槃寂靜と表されます。この涅槃寂靜は煩惱のない悟りの世界がなにもなく静かで安らぎの世界を意味する仏教の言葉です。地球上の物質はすべて分子で構成される物質でできていますし、その物質に対する 1 個の分子の割合がほぼ 1 涅槃寂靜ですから、不純物が全く含まれない絶対的な純粋と考えることができます。これより小さな割合は純と不純の境目のない絶対的な純ですから、もはや純粋な物質と不純物の割合自体が意味を失い現実的に無用で、中国の数の様式で涅槃寂靜より小さな割合の単位の用意されていないことが肯けます。

海水には非常に多くの物質が溶け込んでいますが、海水中のそれらの主な成分の元素組成を見ますと表 2-5 のに示すように重量%濃度で塩素イオンが 1.898%、ナトリウムイオンが 1.056%となり大部分を占めています。輸入困難になり社会問題になったセリウムやサマリウムなどの希土類元素は海水中に 0.5~0.7ppt 含まれていますし、極めて希少で高価な銀や金や白金もそれぞれ 2ppt と 0.02ppt と 0.05ppt 含まれています。この濃度を中国の数の様式で表現しますと、海水中の銀と金と白金の濃度はそれぞれ 2 漠と 2 逡巡と 5 逡巡と表すことができます。意外なことに海水中にはウランが 3.2ppb も含まれていますから、1t の海水から水を除く処理しますと約 35kg の食塩類が残りますが、その中には 3.2mg のウランが含まれており、43.2Bq の放射能を出すと計算できます。

現在の測定機器の精度と感度ではこれらの元素の

表 2-5 海水中の主なイオン

イオン	重量%	mol/t
Na ⁺	1.056	459.4
Mg ²⁺	0.127	52.5
Ca ²⁺	0.040	10.0
K ⁺	0.038	9.7
Cl ⁻	1.898	535.4
SO ₄ ²⁻	0.265	27.6
CO ₃ ²⁻	0.014	2.3

測定限界濃度が 0.01ppt (10^{-14}) 程度ですが技術の進歩で多少の向上は期待できるものと思います。しかし、測定限界濃度を 10^{-20} 以下にすることは現実的に不可能と思われるので、中国で古くから考えられていたように 10^{-20} に対して何もないという意味の虚空、 10^{-21} に対して清く不純物のないという意味の清浄という単位で表わすことが肯けます。中国の数の様式は哲学的に**純**と**不純**の境目を加味して考えられているようですが、銀と金の濃度が 2 漠と 2 逡巡のように大小の比較を分かり難くします。このような海水の例でもわかるように、種々の物質が種々の濃度で不純物として含まれていますから、その濃度を表すためには意味を持った単位を用いることは不適切な単位になる場合もあります。そのため、不純物の濃度を表す単位として中国の数の様式は一般には用いられず、単位に意味を持たない西欧の数の様式の%や‰や ppm や ppb が不純物の濃度を表す単位に用いられています。