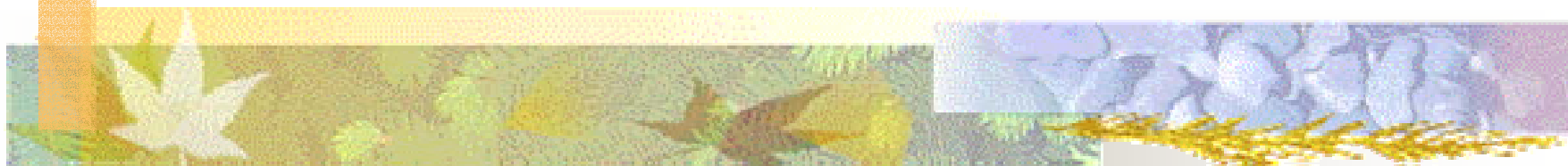


環境表面科学講義



<http://www.iamp.tohoku.ac.jp/~liquid/MURA/kogi/kaimen/>

E-mail: mura@tagen.tohoku.ac.jp

村松淳司



環境表面科学の講義目的

- 身の回りの表面科学・界面化学に関する現象に焦点を当て、それらの現象を物理化学で説明する。特に、環境科学に関する基礎的知識である、コロイドの分散凝集等の界面化学や、吸着・表面反応等触媒反応の知識を取得することを目的とする。

講義概要

- 環境科学研究にとって基盤知識となる、表面や界面における物理化学を講義する。水質汚濁等の環境汚染、あるいは水質浄化プロセスの機構解明につながる、コロイド粒子の分散・凝集について、DLVO理論を元に考察する。
- また、界面活性の働きなど界面に関する諸現象の理解を深める。さらに、環境触媒の機能理解のための、固体表面の物理現象、吸着、表面反応についても理解を深める。



目標

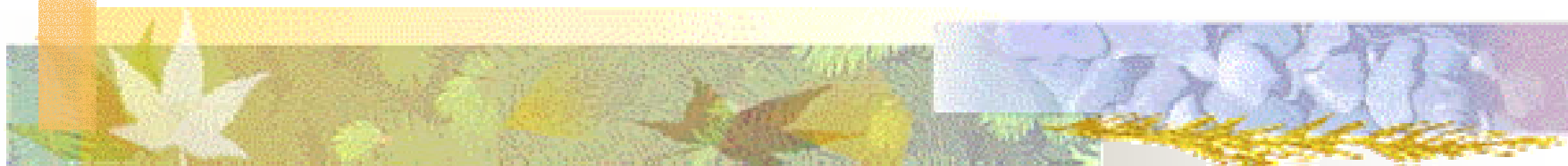
- (1)身の回りの表面科学・界面化学に関する現象が物理化学で説明できることを理解すること
- (2)水質汚濁等環境汚染の機構の解明や、水質浄化等環境保全プロセスの構築には、表面科学、界面化学が深く関わっていることを理解すること
- (3)環境触媒の作用機構を理解すること
- (4)それらの現象を物理化学で説明できることを理解すること



講義の進め方

- 物理化学とはなんぞや
- 身の回りのコロイド現象から入ろう
- 環境問題の本質とは何か。物理化学をベースに考えよう

基礎知識



物理化学 physical chemistry

■ Physical (形容詞)

- 【1】物質の、物質的な、物質界の、自然の、自然界の、有形の、实际的な、実際の、天然の
- 【2】身体の、肉体の、身体的な、人的な
- 【3】相手の体を求めたがる、好色な
- 【4】物理学の、物理学上の、物理的な
- 【5】自然の法則による、自然科学の



物理化学とは

- 物質の動きをとらえる化学
- 平衡論と速度論の世界へ

平衡論と速度論

- 平衡論は、いわば、桃源郷ユートピアの世界の話である。この世界と今とのエネルギー差が、まさしく、ギブスの自由エネルギー変化なのである。平衡論は、エネルギー的に最も安定なところは、どこか、「ある条件下」で、規定しようとする学問である。理想と現実の間の、今、どこに位置しているか、それを数値解析するのが平衡論である。
- 速度論は、桃源郷に如何にたどりつくか、というガンバリ度を表している。詳しくは、講義の後半で話していく。簡単にまとめると、
- 物理化学とは物質の動きを数式化し、理解すること。



平衡論と速度論

■ 平衡論と速度論

- 平衡においては、正方向と逆方向の速度が等しい
- 平衡に達するまでの速度
- 不可逆過程と可逆過程

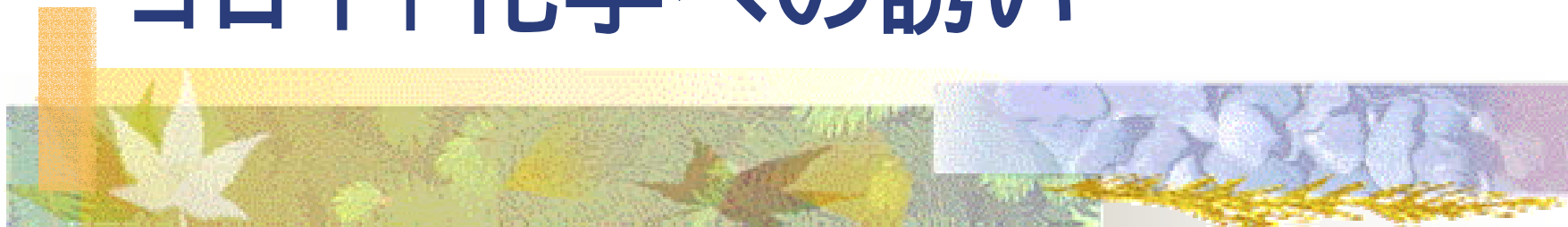
化学ポテンシャル

- 系全体のギブスの自由エネルギー変化に及ぼす、個々の成分のエネルギー変化の寄与分をさしている。式的に表すと、 $G = f(T, P, V, n_1, n_2, n_3 \dots)$ で V 一定で、全微分すると、
- $dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right) dT + \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right) dP + \left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right) dn_i$
- で、 T, P, n_j が一定の時の、 $\left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right) = \mu$ を成分*i*の化学ポテンシャルという。
- ある成分のガンバリ度を示している、と考えても良いだろう。

1 モルの定義とは

- かつて1970年代までは、 ^{12}C が、0 °C, 1 atmで12gあるとき、1 molという、とかが定義だったが、計測法の進歩とともに、電子の質量など不確定性要因が無視できなくなり、定義を変更する。
- 現在、「原子が、 N_A (アボガドロ数)個集まったとき、1 mol原子などと呼ぶ」ということになっており、肝心のアボガドロ数は、 6.0221367×10^{23} 個/molである。化学と工業4月号から。
- つまり、定義に入っている、アボガドロ数も経時変化する、という変な定義なのである。

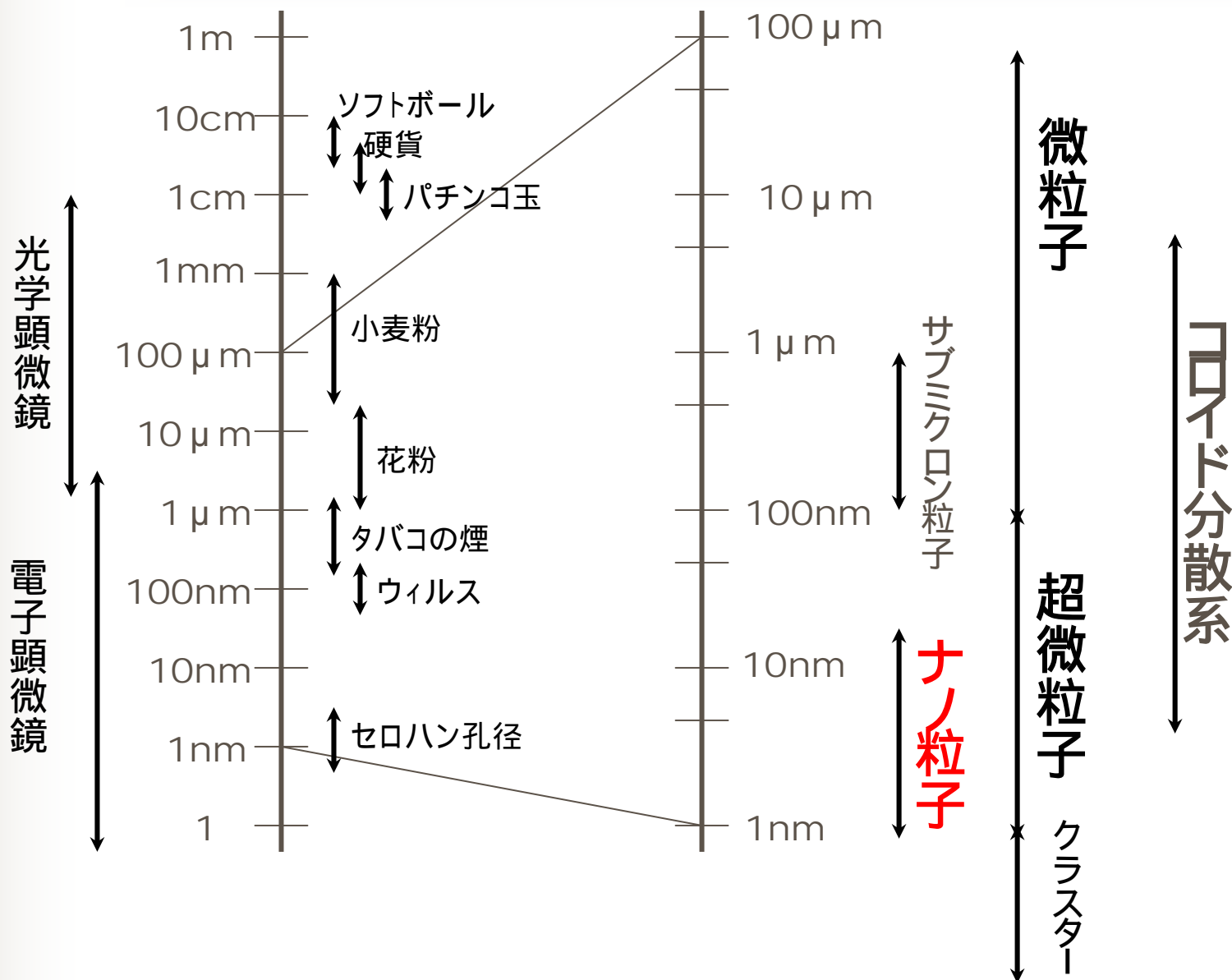
コロイド化学への誘い



コロイドとは何か

- 理化学辞典にみるコロイド
 - 物質がふつうの光学顕微鏡では認められないが、原子あるいは低分子よりは大きい粒子として分散しているとき、コロイド状態にある、という。
- コロイド粒子自体は定義が難しく、分散状態にあるときのみを、コロイド状態、と定義できる
- では、巨大分子が溶けているのと、何が違うのだろうか？

粒子径による粒子の分類



身の回りのコロイド



牛乳

人乳と牛乳の主要栄養価(100g 97ml)

牛乳

栄養素名	人乳	牛乳
エネルギー	65kcal	67kcal
たんぱく質	1.1g	3.3g
脂質	3.5g	3.8g
炭水化物(糖質)	7.2g	4.8g
灰分(ミネラル等)	0.2g	0.7g
カリウム	48mg	150mg
カルシウム	27mg	110mg
リン	14mg	93mg
マグネシウム	3mg	10mg
ビタミンA(レチノール当量)	47 μg	39 μg
ビタミンK	1 μg	2 μg
ビタミンB ₁	0.01mg	0.04mg
ビタミンB ₂	0.03mg	0.15mg
ビタミンB ₁₂	Tr	0.3 μg
パントテン酸	0.50mg	0.55mg



五訂日本食品標準成分表より：100g 当たり

水

乳脂肪

タンパク質



タンパク質

牛乳には、とても良質なタンパク質が豊富に含まれています。なぜ良質なのか。その理由は体の中では合成されない必須アミノ酸を含む19種類のアミノ酸がバランスよく構成されているからです。

タンパク質は血や肉、骨や皮膚、髪の毛にいたるあらゆる細胞を作る大事な栄養素ですが、ホルモンの生産や免疫物質などにも関わっています。またタンパク質の一種であるグルタミン酸は、頭の働きをよくする物質を作りだします。牛乳のタンパク質の多くはカゼインと呼ばれるものですが、これを固めたものがチーズなのです。





脂質

牛乳の脂質は乳脂肪といわれます。小さな脂肪球の形で1ミリリットル中に20～60億個も分散しており、そのため脂肪分解酵素作用が有利に働いていて、消化吸収率が97%と高いのです。

脂質はエネルギー源として元気をくれますが、その構成要素は体のすべての細胞やホルモン、胆汁酸などに必要です。またビタミンA、D、Eの吸収や貯蔵、神経の働きにも深く関わっています。

糖質

牛乳を飲んだとき、かすかな甘味がありますね。牛乳の糖質はほとんどが乳糖です。乳糖は哺乳動物の乳に特有のもので、幼児期の脳細胞の発達に欠かせません。腸の働きを整えるので、便秘にも効果があります。また、カルシウムの吸収を助け、鉄の吸収を促進します。重要なエネルギー源としても筋肉の収縮や体温の維持、病気への抵抗力などに関わっています。ブドウ糖も含まれていますが、これは脳のただひとつのエネルギー源です。

カルシウム

牛乳は母乳の成分に最も近いといわれますが、カルシウムの量に関しては牛乳のほうが4倍近く多く、カルシウムの補給に最も適しているといわれます。それはコップ1杯の牛乳(200ミリリットル)にカルシウムが200ミリグラムも含まれていることに加えて、牛乳に含まれるたんぱく質や乳糖などの働きで、吸収率が50～70%と高いからです。ほうれん草などの野菜類が約20%、小魚類が約30%ですから、その吸収率の高さは、際立っています。

また、カルシウムは骨や歯の形成、血液の凝固、ホルモンの分泌、免疫機能などに深く関わり、筋肉の収縮や心臓の鼓動を一定に保つという大切な役目も持っています。さらに神経の興奮を抑えるので、イライラや情緒不安定を防ぐのにも効果的です。よく眠る前にコップ1杯の牛乳を飲むと安眠できるといいますが、その訳はこんなところにあるのです。

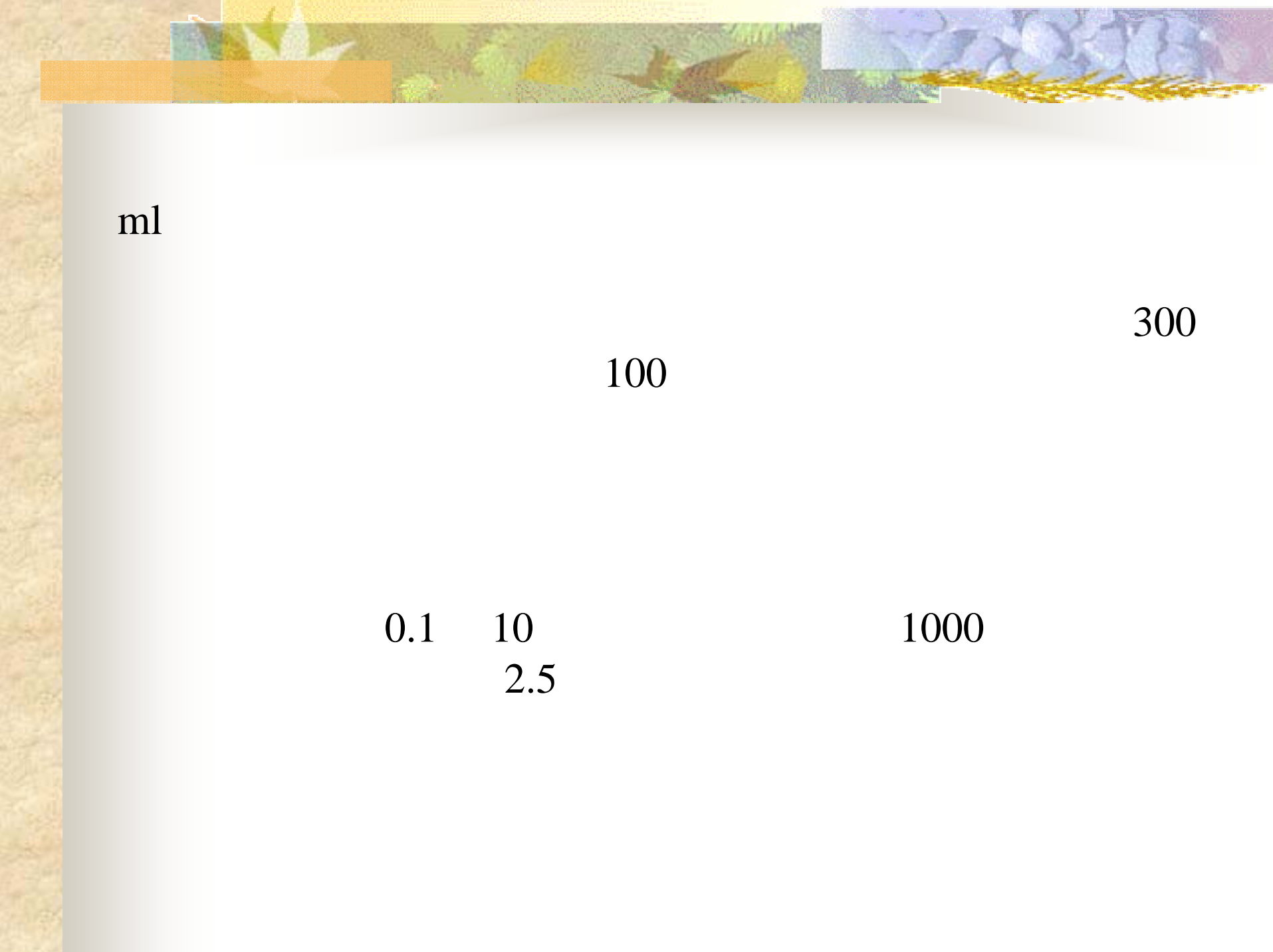
牛乳普及協会から

ビタミン

牛乳に含まれる主なビタミンは、AとB2です。Aには二つの形があり、一つはレチノール。これは子供の成長を促進し、目を健康にするのに必要です。もうひとつはベータカロチン。これは組織の損傷を保護するのに助ける特性を持っています。ビタミンB2は、200ミリリットル中に約0.30ミリグラム含まれています。栄養分の代謝を高め、食欲をわかせて成長促進作用に大切な役割を果たしています。その他にも牛乳に含まれているビタミンDは、骨や歯を強くするためにカルシウムやリンと結合した状態で使われたり、腸でカルシウムを吸収するときにも使われます。

また、ビタミンB1は、疲労回復にも効果を発揮しますし、ビタミンEは老化の原因と思われる過酸化脂質を防ぐ働きがあるので、老化防止ビタミンとして注目を集めています。

牛乳普及協会から



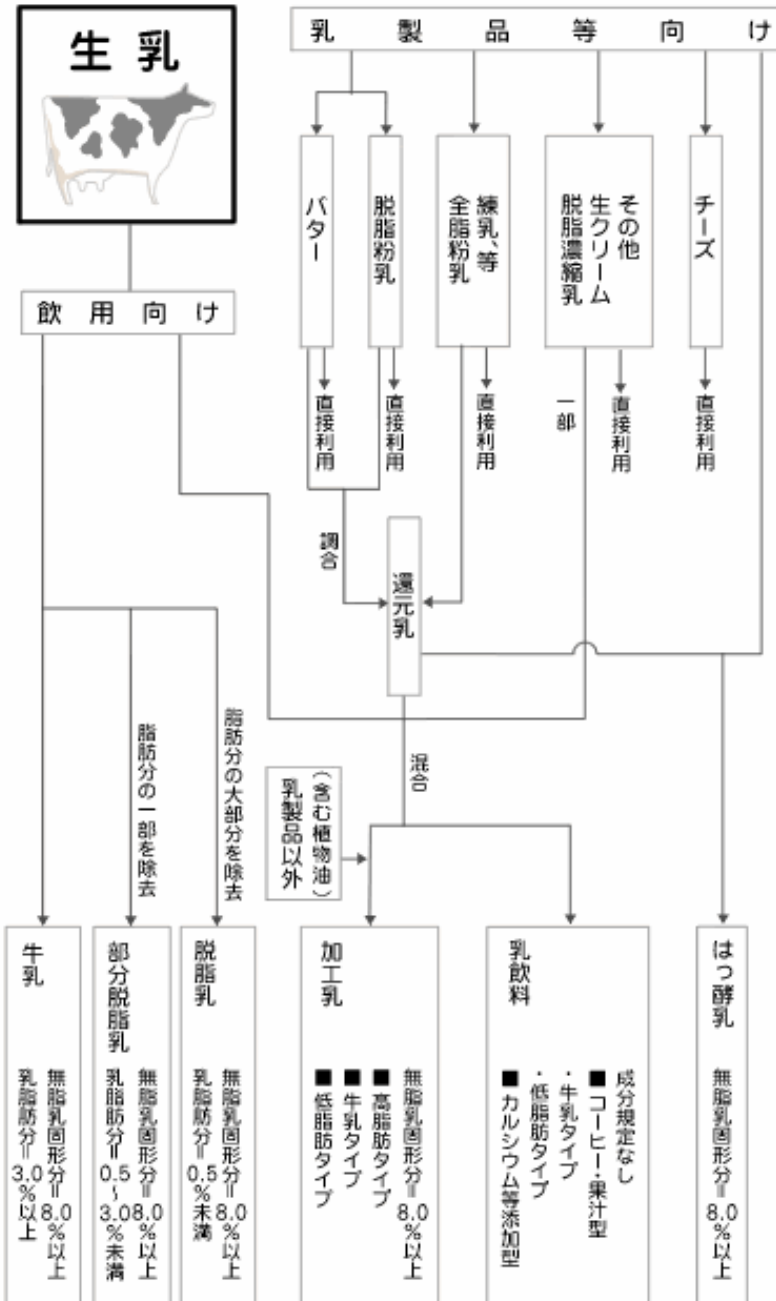
牛乳は、蛋白質であるカゼインや乳脂肪の細かい粒子が1 ml当たり10数兆個ほど乳濁している液体です。この粒子に光が当たり乱反射されるので白色にみえます。

蛋白質カゼイン粒子の大きさは、直径数ミリミクロンから300ミリミクロン(1ミリミクロンは100万分の1ミリメートル)といわれコロイド状に牛乳中に分散しています。比較的大粒のものによる反射光は白色が強く、小さい粒子になるほど青味をおびます。

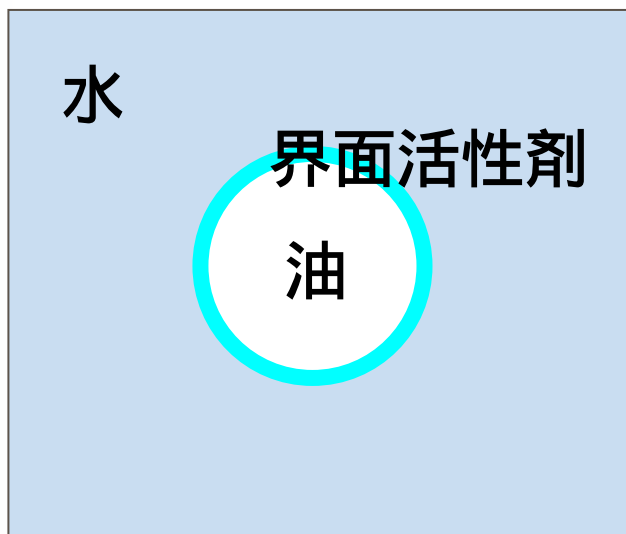
また、牛乳中のエマルジョン状態で分散している脂肪球の大きさは、直径0.1 ~ 10ミクロン(1ミクロンは1000分の1ミリメートル)であり、平均2.5ミクロン(ホルスタイン種)程度であります。すなわち小粒子になるほど光線を乱反射して白色に、大きな粒子になると黄色を帯びてきます。

従って牛乳の白色は蛋白カゼイン粒子と脂肪球の大きさにより影響されます。

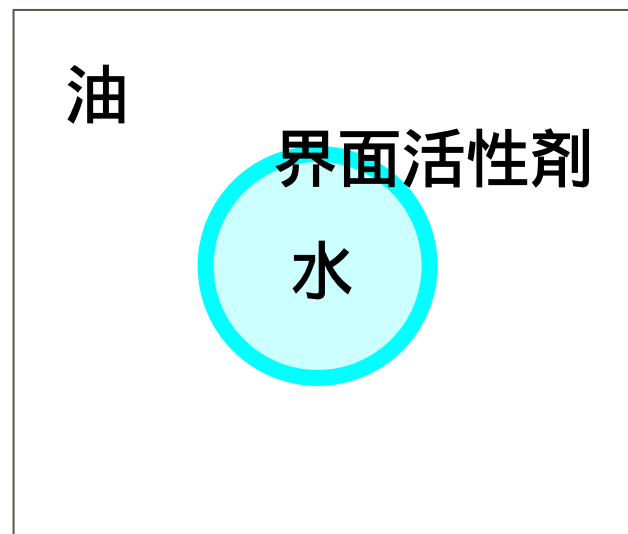
※製品区分は乳等省令に基づくものです。商品名表示区分とは異なっています。



牛乳はO/Wエマルション



O/Wエマルション



W/Oエマルション

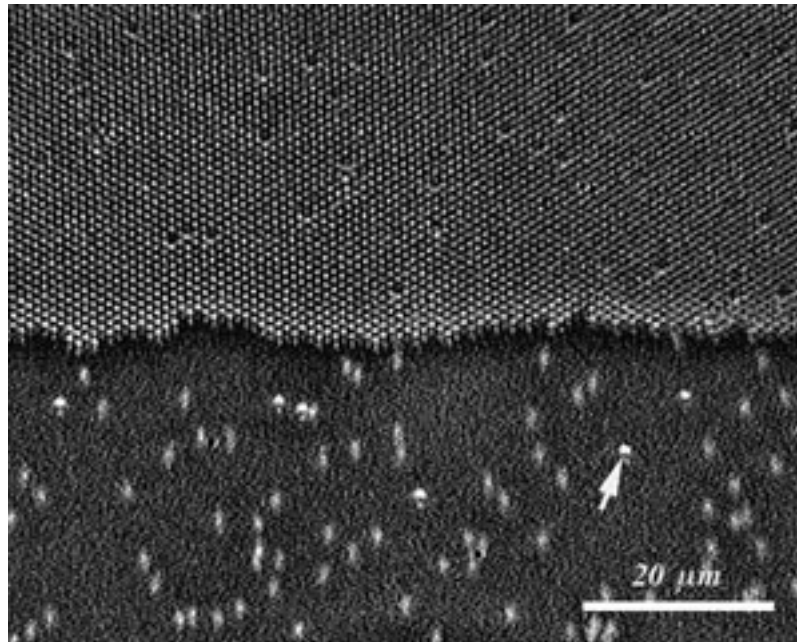
ビデオ

身の回りのコロイド



ビール

ビール



ビールの泡

移流集積によって下から上に運ばれ、二次元の結晶構造を形成するコロイド。下の方のコロイドは動いているためブレている。

永山国昭(東京大学教養学部)

ビールの泡



ビールの泡の役目

- 琥珀色に輝くビールと純白でクリーミーな泡とのコントラストが、目にも清々しいビール。その豊かな泡は、ビールの品質をよく表していて、「良き泡のビールは、良きビール」であるといわれ、泡はビールの花（ブルームン）とも呼ばれています。ビールの泡が、きめ細かくなかなか消えないのは、ビールの中に含まれている麦芽の成分、ホップの苦味成分などがコロイド状に分散し、炭酸ガスの気泡が出来、これらの物質が気泡の表面に集まり濃縮されて粘りのある膜をつくりだしているから。泡は、ビールの中の炭酸が逃げるのを防ぐと同時にビールが空気に直接触れ、酸化するのを防ぐフタの役目を果たしているのです。

ビール酵母

■ 上面発酵酵母と下面発酵酵母

■ 下面発酵ビール

- 下面発酵酵母を使用し、6～15℃と低温で発酵させた、味が穏やかですっきりしたビール

■ 上面発酵ビール

- 上面発酵酵母を使用したもので、18～25℃と比較的高い温度で発酵させ、フルーティーな香気成分を多くつくる。発酵中に浮上し、液面に酵母の層を形成するところからこの名がある。



ビールについて

<サントリーのホームページから引用>

世界には、歴史や風土を背景にいろいろな種類のビールがあり、「使用酵母」「色」などの要素で分類することができます。

発酵方法	ビールの色	タイプ	国名
下面発酵ビール	淡色ビール	ピルスナービール	ドイツ
		エクスポートビール	
		ヘレス（淡色）	
		ピルスナービール	チェコ
		ピルスナービール	デンマーク
		ライトピルスナービール	アメリカ
		ライトピルスナービール	カナダ
		ピルスナービール	日本
	中等色ビール	ウィーンビール	オーストリア
	濃色ビール	黒ビール	ドイツ
濃色ホックビール			
黒ビール		日本	
上面発酵ビール	淡色ビール	ペールエール	イギリス
		ケルシュ	ドイツ
		ヴァイツェン	
	中等色ビール	ビターエール	イギリス
	濃色ビール	スタウト	イギリス
		ポーター	
		アルト	ドイツ
		スタウト	日本
自然発酵ビール		ランビック	ベルギー



色による分類

濃さによって次の3つに区分されます。ビールの色や色調は、大部分が使用する麦芽の溶けと焦がし具合に由来します。

淡色ビール：淡黄褐色の淡色麦芽を使用。すっきりした味になります。世界的には、淡色ビールが消費量で多数を占めています。

濃色ビール：褐色の濃色麦芽や黒褐色の特殊麦芽を一部用い、淡色麦芽とブレンドして使用します。コクがあり濃厚な風味になります。

中等色ビール：上記2タイプの間隔的なタイプ

熱殺菌の有無による分類

加熱殺菌ビール： 貯蔵室で熟成させたビールを、濾過した後、瓶や缶に詰める際、パストライザー（熱水による加熱殺菌装置）にかけて日持ちをよくしたものを“加熱殺菌ビール”と呼び、“生ビール”と区別しています。

生ビール： 貯酒タンクで熟成させたビールを濾過しただけで、熱殺菌していないビールを“生ビール”（日本では公正競争規約で「非熱処理」と表示することが定められています）と呼び、熱殺菌ビールと区別しています。

かつては、加熱処理によるビールが主流でしたが、生産設備の微生物管理技術、濾過技術等の発達により、現代では“生ビール”が主流になっています。

ラガービール

ドイツ語の Lager（貯蔵）という言葉が語源とするもので、低温で貯蔵、熟成させたビール（下面発酵ビール）のことです。したがって、世界のビールは大半がラガービールです。日本では、熱殺菌したビールをラガービールと思っている人が多いですが、本当は「非熱処理（生）ビール」もどちらもラガービールです。

世界の特徴的なビール

ピルスナービール： チェコのピルゼン地方の淡色の二条大麦の「ピルスナー麦芽」を使ってつくられたホップのきいた爽快な香味の淡色ビール。これを範としたピルスナータイプのビールは、世界で最も普及しており日本の淡色ビールもこのタイプに属する。

ペールエール： 色が淡く、ホップの苦味が強いビール。高温発酵に由来する果実臭(エステルな華やかさ)も特徴。

ケルシュ： ケルン地方のみで製造されているビール。苦味の強いものが多く、酵母に由来する新鮮な果実臭に似た香りが強く、炭酸ガスは少ない。副原料として糖類の添加が許されている。

ヴァイツェン： 小麦麦芽を最低50%以上使用した、バイエルン地方特有のビール。炭酸ガスの刺激が強いが、味は柔らかい。細かな泡立ち、小麦特有の香りも特長。酵母入りのものもある。ベルリン地方でつくられる、ベルリナーヴァイスビールもこれと同種のタイプで、乳酸発酵により酸味が強いいため、シロップと混ぜて飲むことも多い。

ポーターおよびスタウト： とともに大量のホップと着色用に強く焦がした色麦芽を使用。ポーターは1722年にロンドンでつくられ、ホップの苦味の強い濃色のビール。当初、市場人夫(ポーター)がこれを愛用したので、この名が使われたという。この頃は、小樽に詰め、1年あるいはそれ以上貯蔵。18世紀の終わりには貯蔵は大桶で行ない、3カ月に短縮している。一時は人気を博し、ドイツのハンブルクでもつくられるようになったポーターだが、スタウトの登場により現在ではイギリス本土ではみられなくなってしまった。1874年、イギリスでビールの原料に砂糖の使用が許され、砂糖を原料の一部に加えたスタウトが誕生。麦汁濃度によってシングル、ダブル、エキストラおよびエクスポートのようにいろいろな名称のものがある。

アルト： デュッセルドルフ地方で主につくられているビールで、最近消費の伸びがいちじるしく、注目されている。淡色麦芽以外に濃色麦芽も使用し、比較的色彩は濃く、麦芽の焦げ臭を強調している。苦味の強いものが多く、生ホップを貯酒タンクで加え、ホップ香を付ける場合もある。一般に新鮮な果実に似た香りが強い。

ランビック： ベルギーの一風変わった酸味を有するビール。大麦麦芽のほかに生小麦を使用し、1年経過した古いホップを大量に添加する。また培養酵母を使用せず、自然発酵を行なうのが特徴。醸造は温度の低い9月下旬から翌年の5月上旬に限り、野生酵母や乳酸菌が作用し、独特の香りと酸味の強いビールができる。貯蔵期間は長く、1～2年あるいはそれ以上におよぶ。

ビールができるまで

製麦

精選した大麦を水に浸して発芽させ麦芽に変えます。適度に発芽した麦芽を熱風で乾燥させます。乾燥により、成長が止まり保存性が増すほか、香ばしい香りや麦わら色の色彩などができます。

仕込 粉碎・糖化・濾過・煮沸



仕込は、原料を酵母が発酵しやすい形（糖、アミノ酸など）にまで分解します。粉碎した麦芽に副原料や温水を加え混ぜ合わせます。適当な時間、適当な温度に保つと麦芽の酵素の働きで、でんぷん質が糖分に変わります。この糖化が終了した液を濾過して、ホップを加え、煮沸します。ホップを加えることで麦汁にビール特有の香りと苦味がつき、煮沸により麦芽の酵素の働きを止め、麦汁を濃縮して所定の濃度にします。煮沸終了後、沈殿したホップ粕やオリを

取り除きます。

発酵

オリ分離の済んだ清澄な麦汁を5~10℃に冷却し、酵母を加えます。酵母は、発酵中に4~5倍に増殖し、その過程で麦汁中の糖分のほとんどをアルコールと炭酸ガスに分解し、香味・香気成分も生成します。7~10日ほどで発酵が終わると、麦汁はアルコール分約5%の“若ビール”となります。

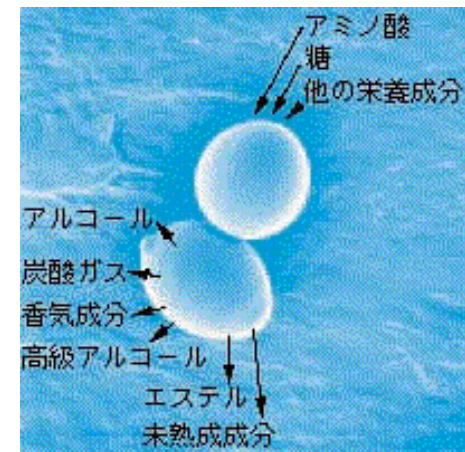
発酵の化学式



酵母

酵母の種類

酵母には、下面発酵酵母と上面発酵酵母の2種類がありますが、日本で主に使われるのは、6~15℃と比較的低い温度で発酵させ、味が穏やかですっきりしたビールをつくりだす下面発酵酵母です。発酵後期に沈殿することから、この名があります。



貯酒

“若ビール”は、まだ香味はとげとげしく、未熟成成分も残っています。この若ビールを、少量の酵母とともに約0 で約1ヵ月間日貯蔵することによって、香味をまろやかにし、未熟成成分を減少させます。同時に、ビールの濁りとなる物質を出させ、炭酸ガスを溶け込ませます。貯酒によってビールは熟成度を増すとともに、ビールの濁りがオリとなって沈降し、ビールが清澄化していきます。

濾過

濾過の目的は、濁りを完全に除き、清澄なビールにすること。役目を終えた酵母を取り除くと同時に、うまみの成分は完全に通過させることです（ケイソウ土濾過とマイクロフィルターの2段濾過法を採用し、濁りや酵母は完全に取り除き、かつうまみの成分は完全に通過させるようにしています）。

大瓶1本のビール(633cc)をつくるためには、大麦を手のひらに2杯(90g)、ホップの乾燥穂花を10個(1g)、水は約10倍の6000ccが必要です。

ビールの泡の役割

クリーミーな泡はビールの美味しさの秘訣です。グラスに注いだ時に、ビールと泡は7:3の割合がお勧めです。泡はビールが空気に触れて成分が変化して味が落ちるのを防ぐとともにビール中の炭酸ガスを逃さない『蓋』の役目をしています。また、苦味成分を吸着して口当りをやわらかくもしています。グラスに注いだビールの泡立ちが悪い場合、考えられますのは、グラスに油分などの汚れがついている ビールを冷やしすぎた場合などです。(適温は、夏場で4~6度、冬場で6~8度)

