



随筆

## ホットな泡

荻野和巳\*

昭和63年9月28日付夕刊に、昭和63年夏のビールの消費量が史上最高を記録したことが国税庁のまとめによって明らかになったと報ぜられた。それによると、6月から8月までのビール消費量は192万8000キロリットルで、なんと成人1人当り大瓶343本、大ジョッキ271杯を飲んだことになるといわれる。

この夏は天候不順で、大阪の平均気温が平年より1℃、東京は2.5℃も低いにもかかわらず、ビールが売れに売れたのは、63年2月より各メーカーが競って売り出したアルコール度の高いドライビールがヤングから中年まで各層で大ヒットしたものとされている。ビール界のホットな泡の戦いはビール史上いつまでも語り草として残るであろう。たしかに、一日の仕事を終えた夏の夕刻、あるいはスポーツのあと、目の前に置かれたコップに注がれたビール、盛り上ってくる純白の泡、見るからに清涼感を与えてくれる。一口つけた泡の味、口のまわりにふれる感覚、何ともいえない気分にしてくれる。

このすばらしい飲み物は、その醸造の起源は古く、少なくとも紀元前5～6千年から3～4千年もの昔、メソポタミアや古代バビロニア、古代エジプトに遡るといわれている。面白いことに紀元前3千年頃のシュメールの満杯を意味する絵文字は、丁度ビールの泡の盛り上がったようなコップの形で示されている。

我が国でいつ頃ビールが飲まれたか正確には分らないが、享保9年(1724)春、オランダ人と幕府の役人が『びいる』を飲んだという記録がある。また我が国において最初の本格的なビ

ール醸造者はアメリカ人の醸造技師ウイリアム・コーブランドで明治5年頃、横浜でビールの醸造がはじめられたといわれる。その後官営も含め数多くの大小のビール醸造会社が東京、横浜、京阪神のみならず北海道、九州の各地で設立されたが、ほとんどがビールの泡のように消えてしまっている。現在、我が国のビール醸造は4社によってなされているが、企業間のシェア競争は熾烈をきわめ、63年の『ドライ戦争』はホットな『泡の戦い』ともいうべきであろう。

ビールの泡のほかにも、我々日常生活には数多くの泡(Foam)、泡立ち(Foaming)現象が見られる。話のついでに食と結びついたもうひとつの泡沫について。我が国にはビールよりはるか約700年の昔、鎌倉時代に僧栄西によって宋より茶種が持ち帰られ、本格的な茶の栽培が始まり、喫茶の文化が形成され、茶道が確立された。抹茶茶碗の中で茶筌によって泡立てられた淡緑色の泡立ちは、永年にわたって日本人の精神文化を形作ってきた。戦国時代には、こよなく茶道を愛した多くの武将達。この『茶の湯の文化』は当時のヨーロッパの人達に強烈な文化的インパクトを与えたことは良く知られているところである。当時ヨーロッパの宣教師が接した日本の茶とはたんなる飲み物としてではなく、その飲み方が一種の儀礼として、不可解な宗教的神秘性と社会的倫理性をもっていることに、彼らはいたく感動したといわれている。豊かであった当時の東洋文化を代表する『茶の文化』に対するヨーロッパ人の畏敬と憧憬はヨーロッパの近代史への始まりとなるのである。

ビールの泡、抹茶の泡、現在我々が口にし、味わい、心理的な安堵感を得る双壁の泡であろう。

\*荻野和巳(Kazumi OGINO)、大阪大学工学部、材料開発工学科、教授、工学博士、界面制御工学

さて、日常生活に欠かすことのできない泡には、石鹼、洗剤の泡があり、泡沫消火器の泡など人命を守る泡といって過言でない。少し自然界に目をむけてみよう。生物たちも身を守るために、本能的に泡を利用している例として、モリアオガエルが池や沼に集まり、木の枝や草などの上に乳白色の泡状の卵塊を生みつけるのは有名な話。カニのアブクも泡の一種。その状態はなんと石鹼水の泡立ちと似ていることか。

自然界には、もっと雄大な泡立ちがある。泡立つ海、特に冬の海にみられる『波の華』は奥能登の風物詩として年一度はテレビ画面に登場する。波打際に吹寄せられた『波の華』は強い北風に吹き飛ばされ、灰色の空をバックに、ほんとうに寒さむとした冬の海の情景を見事に表現している。

このように、我々の身近にみられる泡、泡立ち。そもそも『泡』は字の形から、包むはつつんでふくらむの意であるから、『水+包』で空気をつつんでふくらんだ水、すなわち『あわ』ということになる。気体が液体につつまれ、それが数多く集まって生成するものが、『泡沫』といえる。ビールの泡は炭酸ガスの“気泡”がビールにつつまれ数多く集まって生成していることになる。

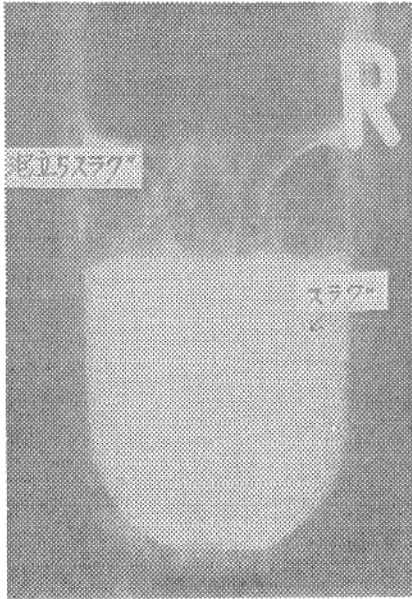
ビールの泡、抹茶の泡、そして石鹼、洗剤の泡、もちろんカニのアブクも波の華も、いずれも気体が液体内で生成したり、吹き込まれたり、また、巻き込まれたりして泡立っている。これらの泡は我々が口にし、手にふれ、さわられる泡である。もっとも料理で食物を煮炊きする場合生じる泡はちょっとさわるわけにはいかないことはいうまでもない。しかし、たかだか100℃程度のものである。

『泡』は以上の説明のように、気体—液体の組合せによって生じるものであるから、液体は何も水や水溶液に限ったことはない。もっと温度の高い液体が、それこそ千数百度の高温で泡立つのをご存知の方は数少ないものと思う。千数百度の液体、いわゆる融体に包まれた気体が集まってできる泡。我々の日常生活においてそうざらに目にふれることのない、それこそ真正銘の『ホットな泡』に話を移してみよう。

我々人類が日常多量に使用する鋼、年間全世界で7億トン生産され、そのなかで我が国では約1億トンの生産をここ10数年維持し、米国、ソ連と並ぶ世界の3大製鉄国（1億トン製鉄国）といわれている。これらの鋼は溶鉱炉で原料の鉄鉱石（酸化鉄）が銑鉄として生産され、それを酸素転炉において鋼に精練される。銑鉄中に溶けた炭素は高速で吹き込まれる酸素によってCOガスとなり炭素が除去され、鋼となっていく。すなわち鋼の精練では高温において気体の発生反応が進行する。気体の発生があり、かつ適当な液体が存在すれば、泡が生じることは上記のように常温では常識である。転炉の内では銑鉄中に含まれたSi, Mn, Fe, Pは酸化し、SiO<sub>2</sub>, MnO, FeO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>などの酸化物になり除去され、造滓剤として装入された石灰石と結びついて複合酸化物の融体、熔融スラグを形成する。転炉内で発生するCOガスと高温の熔融スラグ（ケイ酸塩）、この組み合わせがまさに、『ホットな泡』の形成の原点ということになる。

かつて一世を風靡した製鋼法、平炉製鋼では鉄鉱石や石灰石を投入したときに良くスラグの泡立ちがみられた。しかし、我が国ではこの製鋼法はすでに昭和53年に廃止され、我々は平炉におけるスラグの泡立ちは見る事ができない。

現在、我が国の鋼の約70%、約7000万トンを生産する酸素転炉、数10トンから350トンの容量の巨大な容器の内で精練時には高さ10mともいわれる壮大な泡、『ホットな泡立ち』が発生している。この『ホットな泡』が静かに泡立っている間は、特に問題がないが、脱炭反応で生成するCOガス量の変動や、スラグ組成の変化によって、異常に泡立ちが生じ、炉よりあふれ出ることがある。ビールの泡がジョッキの上よりあふれ出るとはくらべ物にならない巨大な赤熱の泡が炉口よりあふれ出る様子は、壮観とだけいってられるものではなく、操業の安定化、安全のためにも是非コントロールせねばならない現象である。何しろ精練時には炉内を直接見る事ができない。そのため世界最高レベルの我が国の製鋼技術者は、この『ホットな泡立ち』を事前に如何に予知するか、如何に制御するか。光ファイバーや画像処理をつかい、超



透過X線によって観察された熔融スラグ (FeO-SiO<sub>2</sub>系) の黒鉛による泡立ち(1300℃)

音波をつかい、ハイテクを動員して見事な成果をあげている。

先に述べたビールや抹茶の泡についてはいくらかの報告がある。しかし『ホットな泡』に関しては基礎研究はわずか数件にすぎない。

筆者の研究室では数年前より巨大な酸素転炉内のスラグの泡立ちの基礎的研究として、内径25mmの小さなつぼ内で製鋼スラグFeO-CaO-SiO<sub>2</sub>-(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaF<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O)系を溶かし、ステンレスのノズルよりArガスを吹き込んで約1300℃の『ホットな泡』の特性を調査している。ガスを吹き込むとスラグは丁度、石鹼水にストローで気体を吹き込むときのように簡単に泡が立つ。るつぼの上方より見ていると、ガスを吹き込むのを止めるとスラグの泡はすぐ消える。まさに『うたかたの泡のように』消えて、いわゆる不安定泡沫と分類されよう。また、酸化鉄を含むスラグと銑鉄粒、黒鉛粉末などを混合し、千数百度の高温に保持すると相互に反応し容易にスラグの泡立つのが見られる。どうもこれらの『ホットな泡』はビールの泡に比べて不安定のようなのである。

観察は実験室にとって至高の問題である。いかに正確に現象を見つめるか。上方からの観察からだけでは泡が重なっているから、横側から泡の生成するところを見たい。この欲望を解決してくれるのは透過X線による横側からの観察

である。丁度胃のX線検査で最初に飲まされる発泡剤によって胃内上部に泡がみられるようになるつぼの中で泡立っているスラグの『ホットな泡』の様子を写真によって見ていただきたい。FeO-SiO<sub>2</sub>系のスラグを溶解し、その中に黒鉛の丸棒を挿入してある。スラグ中のFeOと黒鉛とが反応してCOガスが発生し、泡立っているのが見られる。X線写真では上部の色調の薄い部分がそれである。気泡1つ1つはわからないが、下のスラグ融体と比較して多量のガスを含むため見掛け上密度が低下し、薄く写っているのがお解りになるであろう。

実際生産現場での『ホットな泡』はどのようなものであろうか。鋼を製造するプロセスとして転炉の外に電気炉によるものが全体の約30% 3000万トン(昭和61年度)といわれ、製鋼技術で重要な位置を占めている。この方法では幸い転炉と違って、炉体構造上、横側から炉内を観察することが可能であるため、『ホットな泡』を直接観察するにはもってこいである。製鋼会社に特にお願いして『ホットな泡』の見学をさせて頂くことにした。

10月初旬、名古屋市南部の特殊鋼会社を訪問した。名古屋湾に沿う重工業地帯湾岸道路を南下する。広大な敷地に合理的に配置された工場群、環境保全のため製鋼工場の建屋は巨大な集塵装置が設置され、工場内の70トン電気炉も集塵用施設で炉体そのものを直接見ることはできない。ただ出滓口の扉ののぞき窓よりかろうじて炉内の輝きをみる事ができる。特に筆者のために出滓口の扉が開かれ、炉内を見やすくしてもらった。ヘルメットについたコバルトガラスを通して精錬過程の炉内を良くみることができた。約1700度に輝く炉内で灼熱のスラグは沸き立ち、その外観はあたかもフツフツと煮えたぎっているスープのようにみえる。投入されるコークス粉とスラグで反応生成するCOガスによって多量の気泡を含むスラグ層はもり上り、次第にその厚さが増して、ついにその一部は出滓口よりあふれ出るのが見られる。もっとフワットした泡を想像していた筆者にとって粘さの感じる泡沫であった。どうも液体部分の多い『ホットな泡』のように思われる。技術者の説明に

よると今日の泡立ちは大変おだやかで、もっともっと激しい泡立ちもみられるとか。映画でその様子を見せてもらった。出滓口より焰とともに激しく溢れ出る『ホットな泡』、沸きでるように次からつぎへと、盛り上がり、溢れでる泡状スラグの様子は壮観を通りこして、気味が悪いほどである。

ところで、近代製鋼法が誕生して百数十年溶鉱炉による製鉄と、転炉、電気炉、平炉による製鋼という技術体系に対して、最近、溶融還元という新しい技術体系の創設に対する模索が我が国で試みられている。鉄鉱石と石炭を直接反応炉に装入、還元によって銑鉄を製造するこの溶融還元プロセスはマスコミに取り上げられたこともある。溶鉱炉、コークス炉、焼結炉、熱風炉等、合計数千億円ともいわれる巨大設備投資を必要とせず、溶融還元状態を作り出す反応炉を中心とした比較的コンパクトな設備でもって対応しようとするところにこのプロセス大きな特徴を有している。

目下、数トン規模の各種パイロットプラントが各製鉄会社において稼動中である。現在、一日約1万トンの銑鉄を容易に生産する極めて経済的な大型溶鉱炉に対抗できるかどうか。パイロットプラントを見学したあと、同じ所内で巨大な高炉設備をあおぎ見ながら持った感想である。しかし、すでに双葉になりつつある新技術の発展、展開に大いなる関心をもって注目せねばならない。

この技術においても鉄鉱石（酸化鉄）と石炭（炭素）が高温におかれ反応するため、この溶融還元プロセスが『ホットな泡』と関連深いことはすぐにお気付になられるであろう。溶融還元の『ホットな泡』を如何に制御するか。新製鉄技術体系の確立のため、目下『ホットな泡』への科学的、技術的挑戦は続いている。

最後に、本文を執筆するにあたり、ビールの泡については工学部醸酵工学科、大嶋泰治教授より貴重な文献を多数頂き、参考にさせていただきました。厚くお礼申し上げます。

