

## 基準改正後の水道水に求められている課題

### 1.はじめに

ハイテク産業を初めとする産業の近代化に伴っていくつかの化学物質の影響が既に水道水源にも現われるようになり、全国的な原水の汚染の広がりが憂慮されるようになった。

このような状況のもと、平成4年12月に改正された水質基準（技術情報 Vol.17, No.4）は実に34年ぶりの改正であり、平成6年に制定された水道水源二法（技術情報 VOL.18, No.4）とともに水道が今後市民生活でどの様な方向を目指していくべきか、特に、水質管理における今後の方向性を示したものとしても重要であった。

水道法第4条に定められた水質基準によって水道水の質が規定され、この基準に合致していることが要求されている。従って、水道事業者は定期的に水質検査を行い、基準以内であることを確認することによって水道水の安全を保たなければならない。

### 2.改正の要点

今回の改正では水質基準を補完する項目として、快適項目13項目の目標値も示されている。この項目には臭気に関連したものとして旧水質基準になかった、残留塩素、臭気強度そしてかび臭原因物質である2-メチルイソボルネオールとジェオスミンが組み込まれた。このことは現在の水道水に対して「おいしさ」と「質の向上」が求められる時代に沿ったものといえる。

今回の改正で最も重要と思われる点は、上に述べた状況に対して水道水の安全性を確保するために問題となっている微量化学物質の数量的な安全性を評価し、基準を初めて設定したことにある。

水質基準は水道水の安全性の判定を行うものであり、ガスクロマトグラフ質量分析計やフレームレス原子吸光度計等の最新の高額な分析機器によって行われており、その上に高い検査精度が求められている。さらに、水道水に含まれている可能性のある極く微量の化学物質を、正確に精度よく測定するためには単に水道法に定められ

た分析方法に従って測定するだけでなく、検査施設、分析操作、記録保管や検体廃棄にいたるまでの標準化も必要とされている。

水質汚染事故が発生した時や水質検査が不適なときにおける迅速に対応するため、または、原水水質に応じた浄水処理を行うため、新たに自己検査を行うことができる水道事業者が増えてきている。これらの水道事業者が行う水質検査は正確で信頼性の高いものでなければならない。そのような正確な測定値を得るためには外部精度管理を実施することが必要である。衛生研究所が持つべき機能として、衛生検査を実施している検査機関に対するレファレンスサービスセンターとしての役割りとともに、検査機能を持つ水道事業者や専用水道事業者に対しても技術的研修指導及び精度管理を行うことが認識され、今後その必要性も高まってくると思われる。

### 3.精度管理の位置付け

今回の改正の重要な点は、自ら水質検査を実施している水道事業者は水質検査の精度管理を行うことが厚生省の通知のなかで明文化されたことである。

厚生省は「水道法の施行について」の通達（昭和49年7月26日付環水第81号）のなかで、精度管理については「自己水質検査能力の充実及び検査機関の整備に努めること」としていた。

その後、平成4年12月21日付、衛水第269号、「水道水質管理計画の策定について」で、各種の微量化学物質の検査に対応できるよう、関係水道検査機関間での精度管理の実施に関する計画を明らかにすることが必要であるとした。また、この通知には、検査の技術的な指導等に責任を有する技術責任者を置き、この責任者の下で検査技術の標準化・統一化のためのマニュアル作成及び内部精度管理等による精度管理体制の充実に努めること及び第三者による客観的な外部精度管理を定期的に実施するよう努めることが示されている。

#### 4.愛知県における水道水質精度管理について

県では平成5年11月19日に「愛知県水道水質検査実施基本方針」を策定し、同年12月1日から適用している。その中に精度管理及び検査技術の向上の項目を設け、水質検査の技術的な指導、監督を行う検査責任者を置くとともに、自ら水質検査を実施している水道事業者に対し精度管理を義務づけている。そして、内部精度管理と外部精度管理を定期的に行うことを求めており、平成7年7月24日付けで「愛知県水道水質検査外部精度管理事業運営要領」と「愛知県水道水質検査外部精度管理等実施要領」を定めている。

前者では愛知県水道水質検査精度管理委員会の設置と運営、その事業内容と実施主体を、後者では内部精度管理と外部精度管理を毎年度、定期的に行うことを定めている外、特に後者では、分析条件の変更時、すなわち、測定項目の追加がなされたときや機器整備等に伴う検査方法の変更するときには変動係数、定量下限値や有効数字等を算出して見直しをすることを要求している。

また、検査の適正管理を行うため、検査室と設備の管理方法を記載した「検査施設マニュアル」と、採水から分析操作や記録までについての要領を記載した「検査標準マニュアル」を作成すること、及び、これらマニュアルに従った第三者機関が実施する外部精度管理に参加することを定めている。

これに従って平成7年度より、愛知県では実施計画を策定し、自己水質検査を実施している水道事業者が自主的に参加する形で外部精度管理を行い、衛生研究所が実施機関として外部精度管理用検体の作製と結果についての集計解析と評価を行なっている。

平成7年度の精度管理事業には水道事業者22機関、専用水道設置者2機関が参加し、平成8年度は水道事業者21機関、専用水道設置者2機関が参加した。実施項目は水道法の水質基準に関する省令の検査項目の中から外部精度管理に適した項目を選択して行った。

対象には県全体を供給範囲とするような大規模な事業体から、検査要員が1人の水道事業者まで含まれており、機器の整備の内容も異なっている。

外部精度管理の結果は、毎年、愛知県水道水質検査外部精度管理報告書としてまとめられているが、実施項目によっては、使用機器の取扱いや測定環境からの汚染により検査機関間かなりのバラツキがあるものもあって、検査方法の再検討や標準原液のチェックが望まれるものもあった。

#### 5. 異臭味水の問題

異臭味の原因となる2-メチルイソボルネオールとジ

ェオスミンは凝集剤を使用した急速ろ過と塩素滅菌による浄水処理方式では除去できない。このため、水源の上流域に貯水池を持っている水道事業者は全国で毎年、かび臭を主とした異臭味の被害を受けている（技術情報Vol.15, No.3）。

その地域は図1、2に示すように琵琶湖、淀川水系に依存している近畿地方と、異臭味発生頻度の高い相模湖や霞が浦水系の関東地方に集中しているが、関東地方では1990年(平成2年)以降減少傾向にある。これは異臭味被害の発生していた地域の気温や日照時間等の気候の変化により原因生物のらん藻類の繁殖が押さえられたことによると思われる。しかし、異臭味の被害を受けている事業者数自体はあまり減っていない。

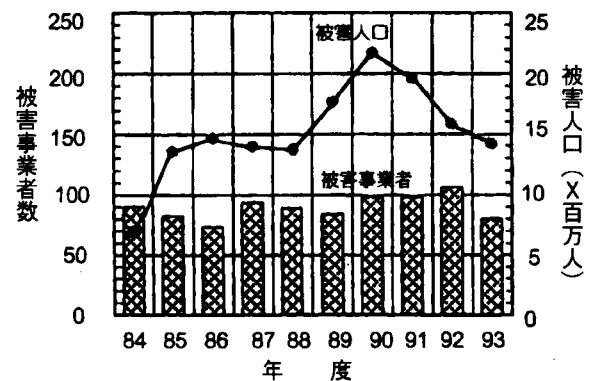


図-1 全国の異臭味被害状況の変化

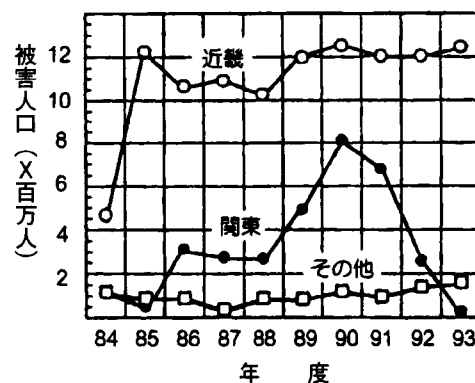


図-2 地域別異臭味被害人口

1993年(平成5年)に異臭味被害を受けた77水道事業者のうち、66水道事業者では既に異臭味対策を実施している。そのうち、約50%にあたる水道事業者では粉末活性炭処理を行い、約20%で粒状活性炭処理を行っていた。異臭味水の解消方法としてオゾン処理後、生成した処理副生成物を粒状活性炭で吸着する高度浄水処理が効果的であり、厚生省も昭和63年度より整備する費用に対して補助制度を創設している。

今回の水質基準改正は水道水における異臭味水の改善を求めているが、この導入には多大の費用と長期的な時間を要するため、中小の水道事業者では困難である場合が多い。それに対して、被害が集中している関東、近畿地方の大規模な水道事業者では高度処理施設の導入を計画しており、東京都水道局では全浄水処理能力の16%、千葉県水道局では28%を、近畿地方の水道事業者では約100%の導入を計画している。このように異臭味水対策に苦慮している水道事業者は非常に多く、同一河川流域の水道事業者が協力して公共用水域の水質監視を実施するなど多大の努力を講じている。例えば、淀川水質協議会の場合は昭和40年に淀川下流から取水している7水道事業者(後に9事業者)が琵琶湖と淀川の水質の監視観測や緊急連絡体制等について連携して対処している。

平成6年5月に施行された水道水源二法のうち、「水道原水水質保全事業の実施の促進に関する法律」によりトリハロメタン対策や異臭味対策のための水道水源地域における合併浄化槽の設置補助等の生活排水対策事業を実施している場合もある。現在までにこの法律に基づいて都道府県知事に対して水道原水水質保全事業の実施を要請したのは全国で7水道事業者あり、既に数ヶ所で都道府県計画が作成されている。

## 6. 愛知県での異臭味水対策

愛知県下の水道水については平成2年から平成4年にかけての、5~6月と9~10月にかび臭についての調査が行われている(技術情報 Vol.19 No.1)。その結果は、全ての測定地点でかび臭はなく、臭気については「快適項目の目標値」に100%適合していた。従って、現在は異臭味による水道水の被害を受けている水道事業者はなく、臭気対策のためにオゾン処理と粒状活性炭処理を組み合わせた高度浄水処理施設の整備を行っている水道はない。しかし、過去には数回かび臭により水道事業者が被害を受けたことがあった。

水道水源として利用されている矢作川支流の巴川にある三河湖では昭和54年以来数回にわたってらん藻類の異常増殖によるかび臭の発生があった。これによって水道水にかび臭を与えたのみでなく、巴川の重要な水産物で

ある鮎の内蔵からもかび臭がするという被害があった。特に、昭和59年7~8月と昭和62年8月にはらん藻のアナベナ・マクロスポーラによるかび臭が発生し、三河湖下流域で取水している水道水にかび臭がし、その給水地域の西三河地方で約26万人がかび臭被害にあった。昭和62年の場合、三河湖湖水の臭気度は20度に達し、三河湖下流にあたる巴川の細川頭首工における愛知県企業庁の水道原水でも臭気度10度にまでなっていた。

愛知県では主原因と思われる富栄養化対策を目的として、県の複数機関によって「巴川水系かび臭問題等対策会議」を発足させた。その後、昭和62年からは環境部主催による県の複数の機関と関係町村の足助町、下山村と作手村で構成する「巴川水系水質保全対策推進会議」に改組され、三河湖の水質調査や湖水の水質改善のための努力が行われてきた。

三河湖では湖中心における表層水の無機態窒素、0.22 mg/L、リン酸イオン、0.02 mg/L、過マンガン酸カリウム消費量、4.1 mg/Lの値であることから、水温、日照時間等の条件が適当となった時には三河湖湖水はかび臭発生の可能性が大きいと考えられる。

このため、愛知県では三河湖の富栄養化対策の一環として間欠式空気揚水筒5台を湖内に設置し、昭和63年9月より水質浄化を開始した。空気揚水筒は底層水を水温躍層(湖水の鉛直方向に見た時、急激に変化する部分)上部に汲み上げることにより躍層を破壊して湖水温度分布を均一化する装置である。この効果は光量不足等による藻類の増殖抑制や酸素を多く含んだ上層水が下層まで循環することによる躍層下層水、底質の嫌気化防止である。

三河湖では間欠式空気揚水筒の設置により、成層期の水温躍層が破壊され、湖水温度の平均化が生じたためかび臭の原因となるらん藻類がほとんど見られなくなった。これにより揚水筒の設置以降現在までかび臭の発生はなかった。また、ダム放流水水温や湖水の水質はこれまでの状況と変化はみられず、湖水や下流河川での魚類や農作物に対する悪影響は認められていない。

(生活環境部 青山 幹)

## 参考文献

- 保坂幸尚、水道水の安全確保のための水質管理、水、39(7)、1997。
- 伊藤雅喜、生物起因の異臭味対策に関する研究、平成7年度報告、日本水道協会、平成8年3月。
- 堤重徳、最近の異臭味被害状況、第46回全国水道研究発表会、平成5年5月。
- 地方衛生研究所全国協議会、地方衛生研究所の強化に関する要望書、昭和63年8月19日。

## 動物実験代替法について

はじめに

医薬品類や食品添加物あるいは環境中の化学物質など、ヒトへの影響を考慮する上において、その安全性確保のためにこれまで実験動物を使用した様々な毒性試験が行われてきた(表1,2)。その一方で、時代の要求として動物愛護の精神も重んじられるようになり、実験動物の扱いについても例外ではなくなってきた。

動物実験代替法は、近年、わが国でも論議的になっているが、一般にはまだなじみが薄いと思われるのでここで紹介したい。

1876年、イギリスで実験に用いる動物について規制する法律が施行されて以来、欧米各国で同様な規制や法律が制定されてきた。ことにアメリカ技術評価局から、1986年、「研究、試験および教育における動物の使用に対する代替」に関する報告書が出され、実験動物代替法を研究や教育に広く取り入れるべきであることが提案された。代替法について特に関心が深いのは動物保護グループの人たちであるが、現在のところ動物実験自体を完全に「代替する」試験法は確立されたわけではなく、一部の試験法について主に培養細胞を用いた試験法で行われるようになったのが現状である。

わが国での代替法の取りくみ

1982年から理化学研究所に「実験動物体制検討委員会」が設置され、基本的な考え方および実施すべき方策の提案がなされ、1984年、科学技術庁に報告書が提出された。同時に、日本実験動物実験代替法学会が設立され現在に至っている。一方、日本実験動物学会では、より適正な動物実験を遂行するに当たり拠り所となる指標を策定し、1987年に「動物実験の指針」を作成・刊行して科学および論理的な動物実験の遵守を求めた。

動物実験代替の定義

「代替」を狭義にとらえれば現在の動物実験を廃止して、代替りの試験法を採用することになるが、実際には非常に困難であると思われる。例えば、新薬開発などにおいては最終的にヒトへの投与という現実を考えれば、実験動物を用いて行ってきた試験を省いたならばヒトにおいて実際上の動物試験を行うことになり、それがひろく社会的に容認されるとは考えがたい。そこで、RusselとBurchによって、1959年に提案された3つのR(Replacement, Reduction, Refinement)をめざすことで一応のコンセンサスが得られている。すなわち、Replacement; 実験材料としての実験動物を他のもので置き換える

Reduction; 使用する動物数を減らし、同時に実験期間を短縮する

Refinement; 実験動物の苦痛を軽減する

以上の3点を考慮して現状を改善する方法が考えられている。

現在、ことに注目されている動物試験法としては、「ドレイズ法」と「LD50法」であると思われるが、それらの急性毒性試験を培養細胞を用いた試験で代替しようとするものである(表3)。しかし、現在まで動物実験を行って安全性を確認してきた試験法に代わり、新たな試験法で同等かそれ以上の結果が得られることが確認されなければならない。従って、個々の従来行われてきた試験法について新たな代替法の有用性の確認(バリデーションといわれる)が必要になってくる。以下に、これまで行われてきた試験法と代替法として行われる試験法について述べる。

表1 主な毒性試験

a)一般毒性試験	b)特殊毒性試験
急性毒性試験	催奇形生試験および生殖試験
亜急性毒性試験	突然変異性試験
慢性毒性試験	皮膚・目局所刺激性試験
	感作性試験
	依存性試験
	行動毒性試験
	免疫毒性試験
	生体内運命

表2 医療用具の生物学的評価

急性毒性試験	粘膜刺激試験
細胞毒性試験	感作性試験
癌原性試験	発熱性物質試験
変異原性試験	皮内反応試験
溶血性試験	

表3 培養細胞試験で検出可能な毒性

細胞毒性
細胞融解, 殺細胞
増殖阻止
炎症ケミカルメディエータ放出
細胞機能障害
変異原性
遺伝子突然変異
染色体異常, 染色体分体交換, 小核試験
DNA損傷, DNA修復
試験管内癌化
免疫毒性
臓器毒性
発生毒性

## 従来行われてきた主な試験法

### 1) ドレイズ法

ドレイズ法とは、生きたウサギの眼に被検液（化粧品、農薬や医薬品など）を滴下して角膜への刺激の有無を調べるための毒性試験（眼刺激性試験）である。その他、急性皮膚刺激試験、腐食性試験などがある。ドレイズ法に関して指摘されている点は、角膜、虹彩や結膜など眼の組織形態的な変化を検査したウサギは繰り返して使用できないため相当数の犠牲を要することである。さらに、試験の対象が眼のみであるものの正常な眼に処置をすることが動物愛護の立場から残酷性が高いと考えられる点である。

### 2) LD50(50%致死量)法

LD50法とは、化学物質（化粧品、農薬や医薬品などを含む）の急性毒性を調べる試験法である。実験動物（マウス、ラット、ウサギやイヌなど）にある濃度の被検物質を投与して試験した個体数の半数が死亡する毒量を決める方法であり、最終的な毒性値を決定するまでに相当量の動物が必要となる。

### 3) 埋植試験

埋植試験とは、医療用具などのプラスチックや金属を無麻酔下でウサギの背中の筋肉に埋め込んで、一定時間後に被検物周囲の筋組織に炎症性反応や出血の有無について調べる試験法である。動物に苦痛を強いること、技術的に熟練を要すること、および結果の判定が主観により誤差が出やすいため早くから代替法の確立が望まれていた。

## 新たに行われる試験法

上記のような試験法に代わって培養細胞を用いた試験法が採用されるようになったが、試験法によりそれぞれ特徴があり、以下に代表的な試験法を紹介する。

### 1) 遊離LDH測定法

前述したようにウサギの眼を用いたドレイズ法の代替法として考案された方法で、例えば界面活性剤は速やかに細胞膜脂質の融解を起こし、短時間で細胞死を誘発する。そこで、細胞内のLDH活性を指標として細胞膜破壊に伴い遊離するLDH量を測定する方法である。酵素活性を測定するため高感度である。

### 2) ニュートラルレッド法

赤色素ニュートラルレッドが生細胞に取り込まれ、細胞内のリソゾームに蓄積される性質を利用した方法で、死細胞には取り込まれないので簡便に生細胞の測定ができる。上述のLDH法よりはやや低感度であるがドレイズ法の代替法ともなり得る。

### 3) MMT（テトラゾリウム塩）法

テトラゾリウム塩であるMTTを用いた方法で、MTTは細胞内ミトコンドリアの脱水素酵素の基質であり、活性の高い細胞ほど還元されるMTT量が高く、その結果細胞内に生成されるホルマザン量を指標にして毒性量を測定する方法である。一般毒性試験や抗がん剤の感受性試験などに応用されている。

### 4) コロニー形成法

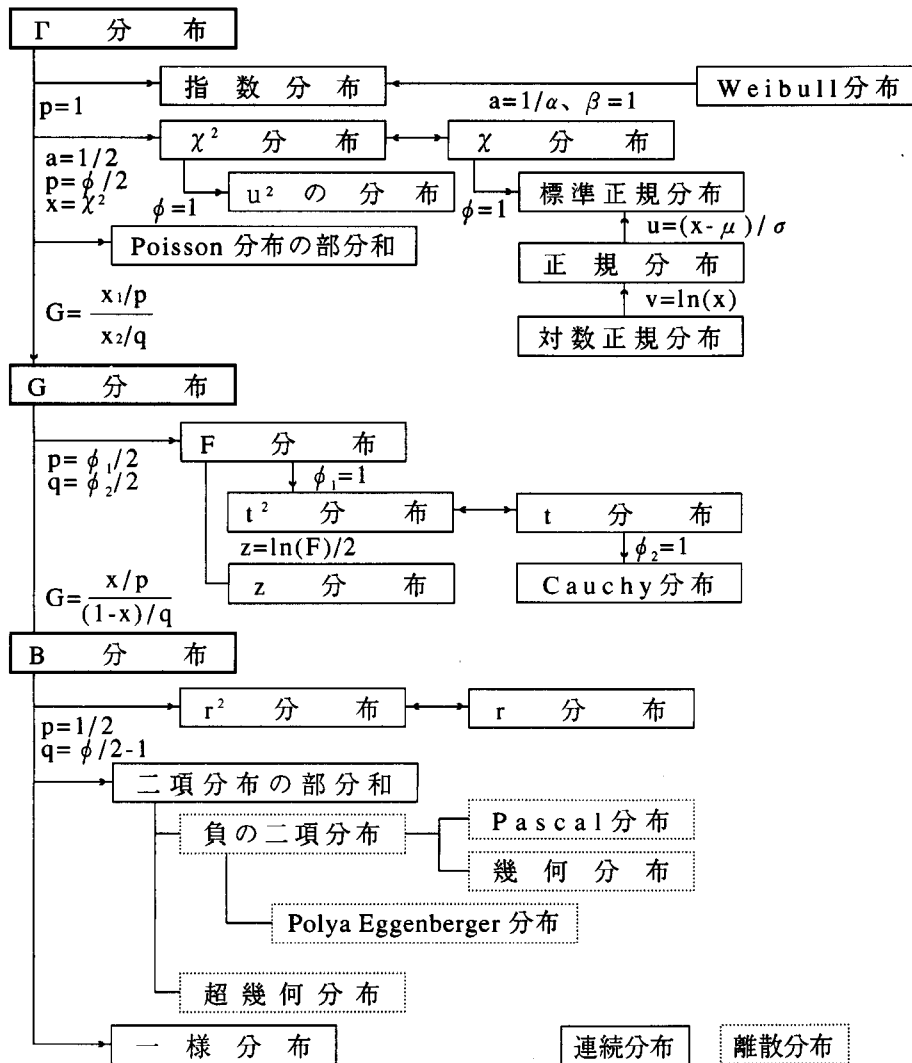
細胞の増殖能をコロニー形成する割合で比較する方法で、被検物質の毒性量の高い物質ほどコロニー形成率が低くなる。原理的には単純であるにもかかわらず高感度であり、この方法は医療用具の試験法で従来の埋植試験に代わって採用されている。

## まとめ

以上に述べたような試験法のほかに、一般細胞毒性試験ではクリスタルバイオレット染色法、さらに、高次分化細胞試験として肝あるいは腎細胞試験法、ヒト皮膚3次元培養法、破骨細胞機能試験法などがあげられる。それらが、今後、医薬品や農薬あるいは食品添加物などの化学物質、その他医療器具等の毒性試験として確立されていくと考えられる。しかし、培養細胞などを用いた毒性試験では、その細胞由来の臓器組織での反応を見ることが可能であり、むしろ試験条件を整え単純化する上において有利ではあるが、生体は恒常性維持のための様々な機能が働く。個体としての反応を単一の臓器細胞の変化だけをとらえて安全性（危険性）を予測することは現在の段階では不可能と思われる。従って、これまで実験動物を使って行われてきた試験法が直ちに全廃されるとは考えにくく、従来動物を使って得られた膨大なデータと今後行われる培養細胞試験などで得られるデータとを比較して代替法としての有用性を評価してゆかなければならない。しかし、いくつかの試験法の組み合わせなどにより、今後、動物実験が不可避な試験を除いて新たな試験法が順次評価され採用されてゆくと思われる。

（生物部 奥村正直）

統計でよく用いる分布の相互関係



	確率密度関数	特性関数、モーメント	mean	variance	mode
Γ分布	$f(x/a, p) = \frac{1}{\Gamma(p)} a^p x^{p-1} e^{-ax}$ $a, x, p > 0$	$f(t) = (1-it/a)^{-p}$ $E(x^k) = \frac{\Gamma(p+k)}{a^k \Gamma(p)}$	$p/a$	$p/a^2$	$\frac{p-1}{a}$
G分布	$f(G/p, q) = \frac{1}{B(p, q)} \left(\frac{p}{q}\right)^p G^{p-1} \left(1 + \frac{p}{q} G\right)^{-(p+q)}$ $p, q, G > 0$	$E(x^k) = \frac{\Gamma(p+k) \Gamma(q-k)}{\left(\frac{p}{q}\right)^k \Gamma(p) \Gamma(q)}$	$\frac{q}{q-1}$ $q > 1$	$\frac{q^2(p+q-1)}{(q-1)^2(q-2)p}$ $q > 2$	$\frac{(p-1)q}{p(q+1)}$
B分布	$f(x/a, p) = \frac{1}{B(p, q)} x^{p-1} (1-x)^{q-1}$ $p, q > 0, 0 < x < 1$	$E(x^k) = \frac{\Gamma(p+k) \Gamma(p+q)}{\Gamma(p) \Gamma(p+q+k)}$	$\frac{p}{p+q}$	$\frac{pq}{(p+q)^2(p+q+1)}$	$\frac{p-1}{p+q-2}$ $p+q > 2$