

超大口徑比写真レンズの現状

伊 藤 宏

最近 1.2 ないし 1.1 という超大口徑の写真レンズがわが国で生産されるようになった。これ等のレンズの展望、日本でこれ等のレンズが発達した理由、およびこれらレンズの性能に関し、最近の情報理論的の取扱いによる新しい見方を述べる。

1. 緒 言

ライカ判カメラに使用される標準レンズ（包括角 $40^\circ \sim 50^\circ$ ）の明るさは、 $F/1.5 \sim F/1.4$ が限度であり、これを超える明るさのものを製作することは極めて困難であるというのが、久しい間の定説であった。ところがZu-

now $F=50\text{mm } F/1.1$ （旧型）（第1図）が1954年発売され、いわゆる超大口徑比レンズに先鞭をつけて以来、今日までに日本の各レンズ製作者の手から Fujinon $f=50\text{mm}, F/1.2$; Hexanon $f=60\text{mm}, F/1.2$; Zunow（新型） $f=50\text{mm}, F/1.1$; Canon Lens $f=50\text{mm}, F/1.2$; Nikkor $f=50\text{mm}, F/1.1$ といった5種類の $F/1.2 \sim F/1.1$ 級の超大口徑標準レンズがつつぎに発表され、それに伴って、これらレンズの性能ならびに実用性について盛んに議論されるようになってきた。

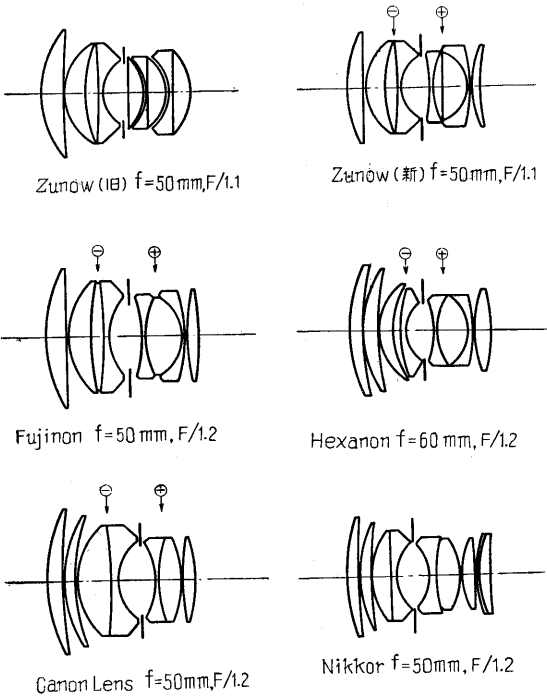
これらいわゆる $F/1.2$ 級レンズの性能がどの程度のものであるかを許された範囲内で整理記述し、またいかにしてこの種レンズが生産されるに至ったかの理由について若干の私見を述べるのが本稿の目的である。

2. 超大口徑比標準レンズの Seidel 係数

口径および包括角共にきわめて大なるこの種レンズでは、もちろん高次の収差まで十分に除去されていなければ、とうてい実用には供し得ない。しかし、それにはまず Seidel 領域における5収差が十分除かれている必要がある。

その程度を知るためにまずこれ等レンズの特許に記載されている実施例のデータを用い、それぞれの Seidel 係数を算出してみよう。その結果は Berek の notation を用いて第1表の如く示される。

もちろん実際のレンズは、特許のデータと同一ではなく、むしろ相当に改良されているとみなすのが至当であるが、それが公表されていない実情では、特許のデータ



第1図 各種 $F/1.2$ 級標準レンズ

第1表 $F/1.2$ 級標準レンズの Seidel 係数 (Zunow 新型のデータ未発表のため、旧型を表示す。また Nikkor のデータも未発表である。)

レンズ名	ΣA_v	ΣB_v	$\Sigma \Gamma_v$	ΣP_v	$\Sigma \square_v$	f
Zunow (旧型) (U. S. P. 2715354)	0.2794	0.3835	0.4855	0.3899	1.0949	1.058
Fujinon (U. S. P. 2718174)	0.2518	0.1407	- 0.0111	0.4297	- 0.0637	0.950
Hexanon (特許告昭 29-2028)	0.0213	0.0719	- 0.0076	0.3036	0.1971	1.000
Canon Lens (特許願昭 30-21894)	0.0442	0.0798	0.0731	0.2837	- 0.0478	1.0103
Tessar ($F/3.5$) (D. R. P. 463739)	1.7581	0.1174	- 0.0843	0.3453	0.0566	1.004

によるのも止むを得ない処置であろう。

さて表における $\sum A_v$ は残存球面収差の量を示し、高次収差とのバランスを度外視すれば、もちろん値の少ないほど、収差は除かれていることになる。

$\sum B_v$ は Coma 収差に関する量で、 $\sum B_v / \sum A_v = Z$ なる位置に入射瞳がある場合、すなわち Fraunhofer の条件が満たされる場合には Seidel 領域内で Coma 収差は除かれ、したがって、画面中央から少し離れた zone における response は画面中央のそれと全く等しいことが保証される。 $\sum F_v$ は非点収差を示す量で、Fraunhofer の条件が満たされた上、 $(\sum B_v)^2 - (\sum A_v)(\sum F_v) = 0$ すなわち Zinken-Sommer の条件²⁾が満たされる場合には、非点収差は 0 となる。 $\sum P_v$ の値は Petzval sum と呼ばれ $\sum B_v = 0$, $\sum F_v = 0$ の時の像面の曲率を与えるものであるが、またそのレンズの Anastigmat の程度を示す一つの measure とも見做されるもので、特に写真レンズにとって重要な意味を持つものである³⁾。最後に $\sum \square_v$ はいうまでもなく歪曲の程度を示す量である。参考までに F/3.5 級の標準レンズたる、Tessar f=50 mm, F/3.5 の特許値による Seidel 係数を第 1 表に併記しておく。

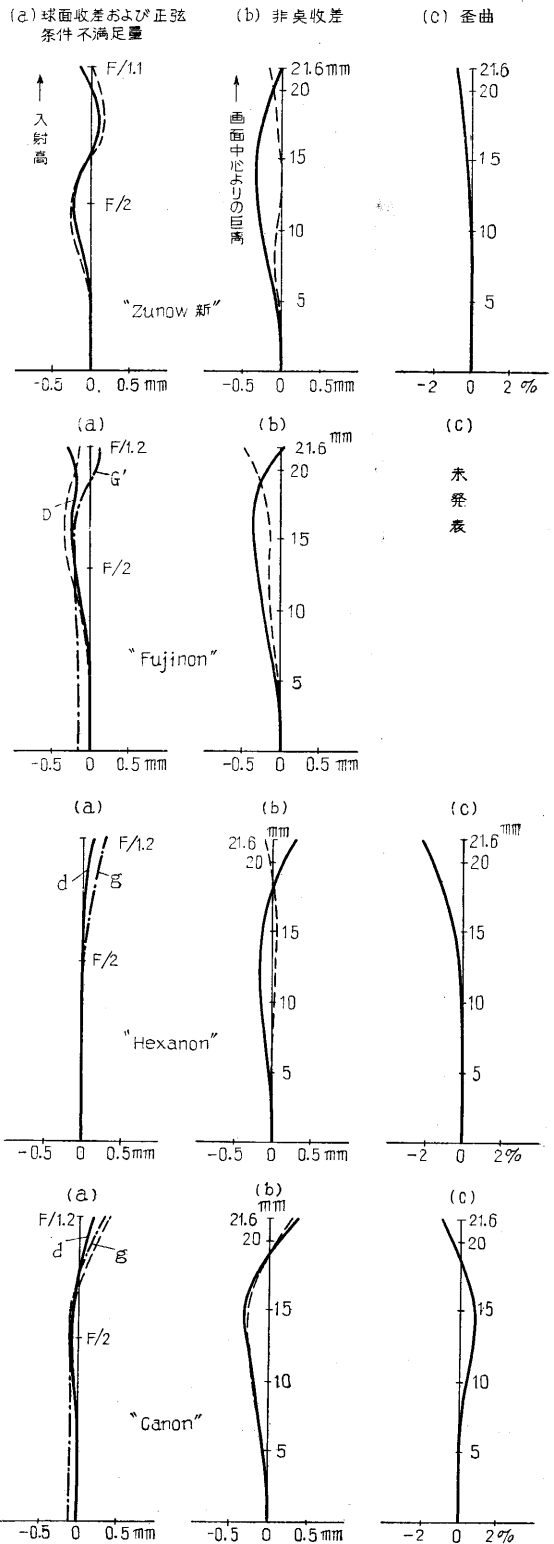
3. 超大口径レンズの収差曲線

写真レンズの収差は普通、主断面内における光線を三角追跡して求めた球面収差と正弦条件不満足量 (a), 非点収差 (b) および歪曲 (c) の量によって示される。したがってこの値は追跡した光線に関しては、すべての次数の収差の総合結果を示すものである。

幸い、Nikkor を除く他のレンズでは、その数値を製作者自身発表しているので⁴⁾、比較に便のため、これらを同一スケールに直し、フィルム面における絶対値で示したものが第 2 図である。

しかしここで注意すべきは、大口径レンズでは主断面以外の光線、すなわち skew ray の収差状態がそのレンズ性能に著しい影響を与えるものであるから、以上の曲線のみでは、十分な判断が得られないということである。しかし、現在までに skew ray に対する収差の示された例がないので、そのレンズの開放絞りの際のフレアの程度を知りたい場合などには、実測する以外方法がないことになるが、これら全レンズについてこれを行うのは筆者は適任ではないので、ここでは割愛させて頂くことにする。

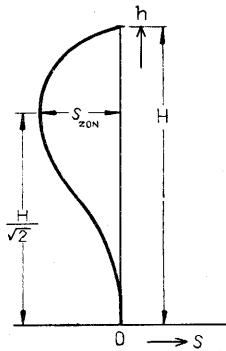
さて第 2 図のような三角追跡の曲線から、そのレンズがどの程度の像の伝送能力を有するかを数量的に知る手段は、現在までに余り明らかにされていないが、ごく最近球面収差についてはこの曲線を用いてその Response function を計算することにより、かなりはっきりした見透しが得られるようになった⁶⁾ので、それについて簡単に述べることにしよう。



第 2 図

簡単のため、今考えるレンズの球面収差 s は入射高 h の 4 乗に比例する次数までの full correction の type

(第 3 図参照) であるとする。すなわち



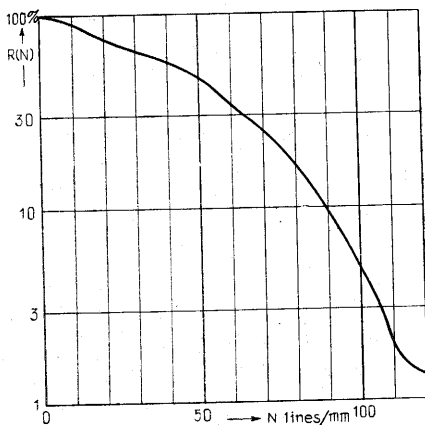
第 3 図 4 次までの項を持つ full correction type の球面収差曲線

$$s = 4 \cdot \frac{h^2}{H^2} \left(1 - \frac{h^2}{H^2} \right) \cdot s_{zon.} \quad (1)$$

ここで H は full aperture の入射高, $s_{zon.}$ は入射高 $h = H/\sqrt{2}$ なる光線の球面収差量で, いわゆる zonal spherical aberration の値を示すものである。

(1)式から無限遠光束に対する受像面中央部の response は, 幾何光学的には $s_{zon.}/F$ が一定である限り, F ナンバーに無関係に一定となることが知られ, またそれに対する response function $R(N)$ も計算される。先に例示した Tessar $f=50\text{mm}$, $F/3.5$ の球面収差は近似的に(1)式で表わされ, $s_{zon.}$ としては -0.35mm の値を持っているが, この値について response function の値を best focus の位置*で計算したものは第 4 図で示され, 各空間周波数 (N) に対し, 画面中心部において Tessar がどの程度の伝送能力を有するかが明瞭となる §。

さて, この程度の response function の値を持つこと



第 4 図 $\frac{|s_{zon.}|}{F} = 0.1\text{mm}$ なる full correction type

の球面収差を持つレンズの best focus 位置における幾何光学的 Response function $R(N)$

が優秀レンズの (best focus 位置における) 必要条件であるならば, 前述のことより(1)で近似される球面収差を

もつ F なる F ナンバーのレンズの, 許容される $s_{zon.}$ は

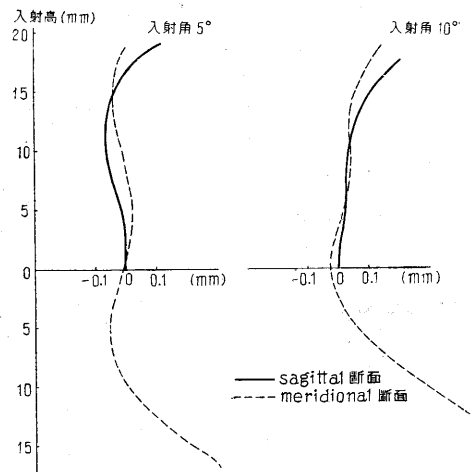
$$\frac{|s_{zon.}|}{F} \leq \frac{0.35}{3.5} = 0.1 \quad (2)$$

なる Criterion formula を満たすものでなければならぬことになる。すなわち, 明るいレンズほど zonal spherical aberration は僅少でなければならないという設計者にとって苛酷な結論を得る。

第 2 図 (a) に示された曲線より明らかなように $F/1.2$ 級レンズの球面収差は(1)式が示すほど簡単なものではないが, zonal spherical aberration を極力減少すべく努力したあとはいずれの場合でもうかがい得る訳である。

さて, Coma 収差に関しては第 2 図 (a) に正弦条件不満足量としてのみ示され, 具体的にどの程度の残存 Coma 収差量があるかについては明らかにされていないが, それぞれに skew ray まで考慮して, $F/1.2$ レンズとしておおよそ高次の Coma まで除去するよう配慮されているということである 4)。

ここでは Canon $f=50\text{mm}$, $F/1.2$ レンズの, 後側主点に向かう光線を主光線とした際の入射角 5° および 10° における sagittal および meridional 断面内の Coma 収差量の Hartmann bench による実測値を, 球面収差と同一要領で表示したもの (第 5 図) で, Coma 収差除去の程度の例とすることにしよう。



第 5 図 Canon Lens $f=50\text{mm}$ $F/1.2$ の Coma 収差実測値

(Sagittal は対称となるので片側のみ記してある)

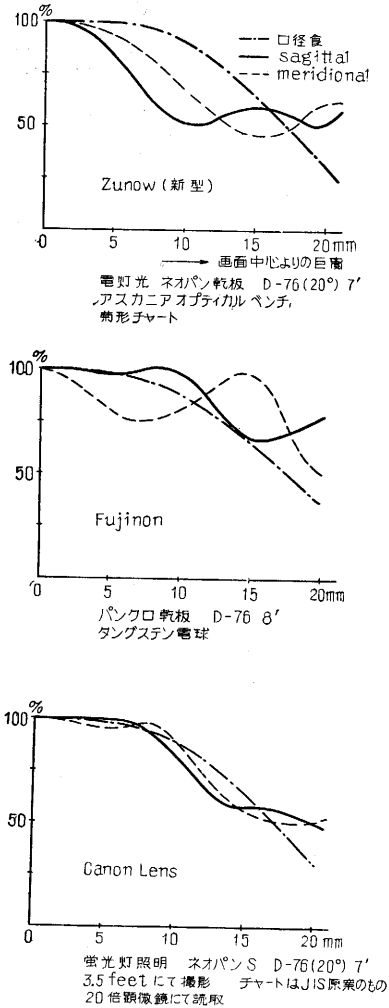
* Gauss 像面より $0.8|s_{zon.}|$ だけレンズに近い位置が best focus 位置となる。

§ 絞りの edge effect を考慮すると, 暗いレンズほどとくに高空間周波数に対する利得は第 4 図より減少するはずであるが, $F/3.5$ と $F/1.2$ とではその差は僅少で, さらに Emulsion の影響を考慮するとこれは無視できる。

この結論は当社佐柳和男氏の計算結果による。(応用物理に発表予定)。

非点収差および歪曲に関して詳述する余裕がないが、F/3.5 級レンズのそれに比較して幾分劣るが、大差ない程度であることは (b), (c) 各曲線の示す通りである。

さて、以上の諸収差を持つレンズを実際使用した際、いかなる性能を示すかを知ることはなかなか困難な問題で、いまだに的確な evaluation の手段は確立されていない。ここでは高コントラストの Test chart を撮影して得られた相対解像力値 (画面中央の解像力を 100% として) を示して * F/1.2 級レンズの開放時の性能判断の一助としよう (第6図)。ただしこの図中にはそのレンズの口径食も同時に鎖線で示してある。



第6図 F/1.2 級レンズの相対解像力 (撮影条件が異なるため直接には比較できない)

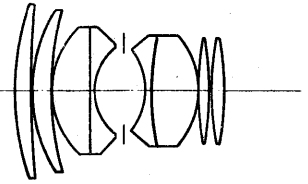
レンズの明るさが F/1.5 を越えるほどにもなると、フィルムのカーリング、距離計の精度、レンズの setting 等の誤差の総合値が焦点深度を over し、したがって実用性が乏しくなるためこのようなレンズは生産しないとドイツでは言明しているそうである。確かに厳密にいえば一応その理由ももっともであるが、少々納得できない

4. 諸外国の現状

さて、以上のようにそれぞれに特長ある収差を持つ超大口徑標準レンズが、つぎつぎとわが国で生産されてきたことは確かに一つの偉観であるがこれに対し諸外国、特にこの方面の先進国たるドイツではどうか。結論から先にすれば、現在のところこの種レンズの生産は全くなされていない。

節もある。現に F/1.5 級の明るさのものは標準レンズ、さらには長焦点レンズ等多数ドイツで発売されているのであるから、例えば F/1.5 レンズの 80% 程度には焦点深度のあるはずの F/1.2 レンズがなぜ急激に実用価値を減じ、生産に値しないかはこの所論のみでは理解し難い。恐らく優れたレンズ § の設計が完了すれば、やがては超大口徑標準レンズも諸外国でも作られるものと考えられる。現に比較的包括角度の少ないレンズでは F/1 を越えるものもかなり知られ、また第7図の如き標準レンズの特許も Angenieux によって知られている 8)。

第7図 Angenieux, F/1.1 (U. S. P. 2701982)

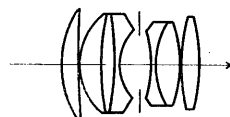


5. 超大口徑比レンズ発達の背景

最後に、なぜ日本においてのみこの種レンズが多数作られるに至ったかについて述べることにしよう。もちろん市場の要求と営業的立場とが、この種レンズの発明を促し、コーティングの進歩と新種ガラスの発達とが、かかるレンズの設計、製作を比較的容易にしたことはいうまでもないが、さらに設計の見地から見て現在の状態を招来した歴史的経過について考えてみたいのである。

F/1.5 ~ F/1.4 級の標準レンズとして著名な type は、良く知られているように、Gauss type (Biotar type) と Sonnar type である。一般的にいて、前者は zonal spherical aberration, 色収差, 歪曲において後者に優り、一方画面中間部における Coma 収差, 特に meridional Coma がかなり後者に劣る 9)。したがって後者は開放絞りで優り、前者は小絞りの際幾分優る結果となっている。

ところで、1940 年富田良治氏はこの両 type の長所を抽出すべく、第8図の7枚構成レンズを発表されたが、これは球面収差に若干の難点が残存した他は両タイプのはほぼ中間の優れた収差を持ち、特に画面中間部に



第8図 Tomita, F/1.5 2w=45° (J. p. 138670)

対する Coma 収差の除去については著しい成功を納めたものであった*10)。

また、戦後 1949 年、キャノンカメラでは、Gauss type の持つ meridional coma は絞りに向かう像側の著しい凹

* これの算出のデータは各メーカーの発表値を用いてある。

§ ただし、各社により優れたレンズの判定基準は異なるものである。

面に原因のある点を確かめ、これを避ける手段として Gauss type に新しい屈折率の配合を見出し、これにより Coma 収差のほとんど残存しない 6 枚構成の Gauss type $f=50\text{mm}$, $F/1.8$ を完成したが、このことは比較的少ない構成枚数でさらにフレアーの少ない大口径比レンズの設計が可能となることを示唆するものであった¹¹⁾。また同じ頃、富士フィルムにおいても、同様の検討がなされ Coma の僅少な $F/2$ レンズが得られた¹²⁾。

以上の 3 レンズはいずれも主体をなす空気接触面の形態が Gauss type に近く、しかも絞りをはさむ前と後の厚いメニスカス状レンズ中に、それぞれ発散作用を営む部分と、収斂作用を営む部分とが内蔵され、両者が収差上それぞれに反対の作用を及ぼすことを利用して、総合の収差を一挙に除くようにした (Rudolph の原理) 点が従来の Gauss type と本質的に異なる点である。Sonnar type は当初よりこの原理が応用されているので今後このような type を中間型と呼ぶことにしよう。

さて、 $F/1.2$ 級の超大口径比レンズは主として日本で発達したこの中間型の基盤に立って発展してきたとみるべきもので、現存の 5 種類中 Nikkor を除く 4 種類までが、多かれ少なかれこの中間型に属するものなのである。このことから、中間型が、 $F/1.2$ 級レンズとして極めて有効なレンズ type であることが分る。第 1 図の各レンズには参考のために Rudolph の原理の適用された箇所を \ominus , \oplus によって示してある。

ここで、Zunow Lens は旧型のもの「高次収差によるフレアーがあり、残存収差も大きかったため¹³⁾」第 2 第 3 ブロックがいずれもメニスカス状のゾナー型、すなわちここでいう中間型の新 Zunow に変更されたのは興味深い。

また、Nikkor $f=50\text{mm}$, $F/1.1$ のみは以上と異なる

純粋の Gauss type であるらしく、新ガラスを含む 9 枚のレンズを用いることにより、個々の曲率半径を大にして諸収差の除去に成功しているようである¹⁴⁾。

6. 結 語

以上に述べた如く、いずれのレンズも超大口径比レンズとしては、それぞれにかなりの性能を具備しているもので、危惧をもって迎えられたこの種レンズ出現当初とは違って、今では牢固とした $F/1.2$ レンズと呼ばれる一つのレンズ群を成すに至った。しかしてその主体をなすレンズ type は主として日本で進歩した中間型なのである。

しかし、ともかく $F/1.2$ 級ともなれば明るさの暗いレンズに比較して、当然のことながら、焦点深度が浅く、残存収差量も多く、したがってフレアーその他にかなりの欠点を持っていることも事実であるから、実際使用に際しては、目的に耐えるものか否かをまず十分検討する必要があるわけである。(1956. 6. 7)

文 献

- 1) Berek, M.; Grundlagen der Praktischen Optik (1930) p. 51
- 2) 丸山修治: 日本数物誌 17, 444 (1943)
- 3) 富田良治: 写真学会誌 6, 34 (1940)
- 4) 写真工業: 2月 (1955) p. 99, p. 107; 2月 (1956) p. 92, p. 94
- 5) Canon 技術資料 No. L-10701
- 6) 佐柳和男, 伊藤 宏: 応用物理 25, 189 (1956)
- 7) Rohr, M. von; The formation of images in optical instruments. (1920) p. 238
- 8) Angenieux, A.; U. S. P. 2701982 (1955)
- 9) 伊藤 宏: 応用物理 21, 54 (1952)
- 10) 前出 3)
- 11) 伊藤 宏: 特許告 昭 28-6685
- 12) 土屋良一: 特許告 昭 29-5031
- 13) 国友健司: 写真工業 2月 (1956) p. 92
- 14) 東 秀夫, 久保田広: カメラ毎日 5月 (1956) p. 162

* これは後にさらに改良されて Topcor $f=50\text{mm}$ $F/1.5$ として現在生産されている。

次 号 予 告 (9月号)

研究解説

- 自動車の乗心地..... 亙理 厚
- 合成染料..... 永井 芳男
- 工作機械の最新の制御方式..... 大島康次郎

研究速報

- ラジアルガスタービンの研究(第1報)..... 水町 長生
—最大効率を出すための条件について—
- 噴流を受ける平板の熱伝達..... 橋 藤雄
内藤 正志
- 強化ポリエステル積層板の疲労試験結果..... 大井光四郎
小倉 公達
- Mg 電解溶の蒸発に関する研究..... 江上 一郎
細田 徹郎
坂井 徹郎
- ニトロオクテンの直接合成..... 浅原 照三
およびその還元..... 三好 淑子

正 誤 表 (6月号)

頁	段	行	種別	正	誤
表 2	左	下 1	ニュース	3ヶ月	2ヶ月
32	右	6	本文	アンテナ励振法等	アンテナ法等
33	左	下 7	"	Body アンテナ	ベビーアンテナ
40	左		第 3 表	-1.0 (12日の最低気温)	-10
"	右	下 7	本文	1~2°C	1~2 ₀ C
"	"	下 4	"	水温 10°C	水温 10 ₀ C

正 誤 表 (7月号)

頁	段	行	種別	正	誤
19	右		第 7 図 縦軸の式	v_u/v_{zm}	v_u/v_{zn}
21	左	下 1	式(3)	C_0	C^0
22	左	下 1	式	$\left(\frac{u}{\rho D}\right)^2$	$\left(\frac{u}{\rho D}\right)^3$
23	左	9	本文	20% 発煙硫酸	発煙硫酸
"	右	下 19	"	文献記載の 2, 6—	文献記載 2, 6—の