可視光の波長域と境界帯域の名称について¹⁾

稲田 勝美*

農林省農業技術研究所*

昭和47年12月24日受付

可視光の限界波長, すなわち可視光と紫外線および赤外線との境界波長は文献によって一定していない. 種々な電磁スペクトルの境界は本来連続的で明確な境界波長が存在しないのであるが, スペクトルの帯域を名称で呼ぶときは各帯域の境界波長を一定の約束で決めておかなければ混乱を招くことがある. ことに境界付近の帯域を取り扱う場合に問題が生じやすく, 同一波長帯が人によって異なる帯域名で呼ばれたり記載されたりすると情報交換上はなはだ不都合である.

ここでは, 可視光の波長域ならびにその長波長側の帯域呼称について検討した結果を述べる.

1. 可視光の波長範囲

可視光の波長域として示されている値は, 最も狭い400~700 nm から最も広い 360~800 nm まで10種類にも及んでいる (表1). これらの値がどのような根拠をもっているか, どれが合理的な値であるかを考察してみよう.

可視光とは「人間の視覚を刺激して明るさを感じさせる放射」であることはいうまでもない. 視覚には明瞭な波長依存性があり, 光の波長に対する視感度の比較は, 最高感度を1とした相対値, すなわち比視感度で表わされる. 明所における標準比視感度 (V_L) は, I.C.E. (国際照明委員会) によって1924年以来採用されており, 555 nm (黄緑部) に極大がある. また, 暗所の比視感度 (V_L') は I.C.E. によって1951年に採用され, 507 nm (青緑部) に極大をもつ^{22,23,28)}. このうち, 明所における V_L 値が, 客観的に可視光の限界波長を決定する場合の唯一の基準であると考えられる.

そこで, 横軸に波長をとり縦軸に V_L の対数をとって

標準比視感度曲線を描き, V_L の種々なレベルにおける左右の限界波長 (図1) を標準として, 文献に記載されている様々な可視波長域がこの標準とどの程度一致するかをしらべた (表1). その結果を要約すると次の3群にわけられる.

(1) 両端波長とも標準と5 nm 以内で一致するもの: 400~750 nm (V_L 2×10^{-4} レベル), 390~760 nm (10^{-4} レベル), 380~760 nm (5×10^{-5} レベル), 380~780 nm (2.2×10^{-5} レベル) および 360~800 nm (3×10^{-6} レベルの推定値).

(2) 長短どちらかの波長で標準と10 nm 程度ずれているもの: 400~760 nm と 380~750 nm (10^{-4} レベル) および 380~810 nm (10^{-5} レベル).

(3) 長短どちらかの波長で標準と20 nm 以上ずれているもの: 400~700 nm (10^{-3} 前後のレベル) および 400~800 nm ($10^{-4} \sim 10^{-5}$ レベル).

結局, 可視域とされている波長範囲のうち, 400~750 nm, 390~760 nm, 380~760 nm および 380~780 nm はいずれも標準比視感度曲線に準拠しており, とともに可

図1 標準比視感度と可視域との関係

V_L : 明順応 V_L' : 暗順応

文献23)の表1.1から作図. ただし*は文献17). 色の区別は30)による.

¹⁾ Katsumi INADA: On the Boundary of Visible Range and the Designation of a Band around 730 nm.

* National Institute of Agricultural Sciences, Tokyo.

表 1 可視光の波長範囲を示す種々な値と標準比視感度曲線との関係

波長範囲* (nm)	参 考 文 献**	比視感度曲線との対比***
400~700	(3)16, (9)61, (12)729, (24)28~29, (29)4~5, (31)384	V_{λ} 値, 10^{-8} 前後の限界波長に比べて, 20~30 nm 短波長側にずれている. 10 nm のオーダーを切りすて 100 nm 単位で表わした概略値.
400~750	(1)4, (12)747, (13)8~9, (17)256, (25)3~4	2×10^{-4} の限界波長 395~745 nm に近似.
400~760	(9)9, (12)780, 819, (22)405, 828	10^{-4} の限界波長 390~755 nm にほぼ近似.
400~800	(2)22	$10^{-4} \sim 10^{-5}$ の限界波長から 10 nm のオーダーを切りあげて 100 nm 単位で示した概略値.
390~760	(8)146, (13)8	10^{-4} の限界波長 390~755 nm に近似.
380~750	(19)265	10^{-4} の限界波長 390~755 nm に近いが, 短波長側にややずれている.
380~760	(16)4, (17)255, 284, (23)3~4, 673, 680	5×10^{-5} の限界波長 385~763 nm に近似.
380~780	(11)1~3, (28)6, (30)48, 51	2.2×10^{-5} の限界波長と一致.
380~810	(7)8~9	10^{-5} 付近の限界波長に近いが長波長にずれている.
360~800	(22)828	3×10^{-6} 付近の限界波長推定値に近似.

* いずれも近似値として示されている.

** () 内は文献番号. 次の数字は頁.

*** 図 1 参照.

視域として正しい数値であることがわかった. したがって, これらのうちどれを可視域としてもよいのであるが, 照明学会では V_{λ} 5×10^{-5} レベルの限界波長に近似する 380~760 nm を可視光の波長範囲と規定し, 一貫してこの数値を使用している²³⁾.

これに対して, 400~700 nm および 400~800 nm は紫外線から赤外線にわたる広いスペクトルから可視域を区分する際の概略値であって, 光合成を対象とする場合には 400~700 nm の値を用いてもよいが, 植物の光形態形成に対しては後述するように 400~800 nm の方が適当と思われる.

2. Farred と near infrared

植物の光形態形成反応は波長約 600~700 nm (極大は約 660 nm) の光によって促進され, その促進が約 700~800 nm (極大は約 730 nm) の光によって可逆的に阻害されることが広く知られている. ここで問題となるのは後者の波長域に対する名称である.

この光可逆反応が発見された1950年代の初めには, 約 600~700 nm の促進波長域は“red” (R) と呼ばれ, 約 700~800 nm の阻害波長域は, “near infrared” (NIR, IR または I と略記) と呼ばれた. 和訳はもちろん“赤”および“近赤外”である. ところが, 1954年に上記光可逆反応を発見したアメリカ農務局のいわゆる Beltsville group は, 730 nm 前後の帯域に用いられていた near infrared を“farred” (FR, 和訳は“遠赤”) と改称した

のである^{18,31)}. すなわち, 可視部と赤外部の境界波長が 700 nm ではなく, 少なくとも 730 nm 付近は可視域内であって近赤外域ではないことを認めたわけである.

これに対して, オランダの WASSINK と STOLWIJK (1956) は, 可視域を 400~700 nm としても何ら不都合はないとして 700 nm 以上をこれまで通り near infrared とする立場をとった³¹⁾. アメリカの HILLMAN と GALSTON (1957) も WASSINK らにならって“infrared”を用いている¹⁰⁾.

一方, アメリカの WITHROW ら³²⁾ は 1957 年に早くも farred を採用し, 1960~62年にはオランダの MEIJER と VAN DER VEEN は「farred=near infrared」¹⁵⁾ あるいは「700~800 nm の near infrared は farred と呼ばれる」²⁹⁾ のように註付で使用し始めた. また, カナダの FRIEND ら⁶⁾ は 1961 年に, 波長 650 nm 付近を, “red”, 750 nm 付近を“far-red”, 800 nm 以上を“infra-red”と規定して記述した. その後, イギリスの CANHAM (1966) も「far-redの方がnear-infraredよりも体裁がよい」とし¹⁾, ソビエトのシュルギン (1967) も 700~760 nm を farred, 760 nm 以上を near infrared としている²⁵⁾.

このように, 1954年頃アメリカで使用され始めた“farred”なる帯域名は, 1960年頃から世界的に使用されるようになって今日に至っている. これは, 前項で述べた正しい可視域の上限波長 (V_{λ} レベルによって 750~780 nm の幅がある) から明らかなように, 730 nm を

中心とする帯域は可視光中の“遠い赤”であって赤外線中の可視部に近いという意味をもつ“近赤外”ではないとの認識に基づいている。

真の near infrared は farred に隣接した波長約 0.76μ 以上の帯域で、その上限波長として $1.1\mu^{25)}$, $1.3\mu^{12)}$, $5\mu^{23)}$ など種々の値が用いられている。したがって、過渡的段階で一部に用いられた「farred=near infrared」なる表現は、「farred で示した約 730 nm を中心とする帯域がこれまで near infrared と呼ばれた帯域と同じである」という意味に限られるのはいうまでもない。しかるに、わが国では farred を“近赤外”と訳して用いている場合が多いのはどうしたことであろうか。十余年前に near infrared から farred への呼び替えが行なわれ、現在世界的に用いられている farred を、依然として近赤外と呼ぶのは不合理であるばかりか、730 nm を中心とする帯域を日本語では可視域の一部と認めないという誤解を招くことになるのである。故に、farred とは可視光中の帯域名で、“遠赤”または“遠赤色”と訳すべきであって、決して“近赤外”(near infrared)ではないことを強調して本稿を終りたい。

文 献

- CANHAM, A. E. 1966. Artificial Light in Plant Growth. Centrex Pub. Co.
- CASARETT, A.P. 1968. Radiation Biology. Prentice-Hall, Inc.
- CLAYTON, R.K. 1970. 「光と生物 I 物理編」, 山本大二郎訳, 1972, 講談社.
- CURRY, G. M. and WASSINK, E. C. 1956. Mededelingen van de Landbouwhogeschool te Wageningen, Nederland, **56**(14).
- DOORENBOS, J. and WELLENSIEK, S. J. 1959. Ann. Rev. Plant Physiol. **10**: 147-184.
- FRIEND, D.J.C., HELSON, V.A., and FISHER, J.E. 1961 Can. Jour. Plant Sci. **41**: 418-427.
- 藤波剛一. 1943. 「光と生物」, 力書房.
- 古谷雅樹ほか編. 1972. 生活環の制御, 「植物生理学講座 4」, 朝倉書店.
- GATES, D. M. 1962. Energy Exchange in the Biosphere. Harper: International Student Reprints.
- HILLMAN, W.S., and GALSTON, A.W. 1957. Plant Physiol. **32**: 129-135.
- JAGGER, J. 1967. 「紫外線光生物学」, 武部啓訳, 共立出版.
- 久保田広ほか編. 1968. 「光学技術ハンドブック」, 朝倉書店.
- KONDRATYEV, K. YA. 1969. Radiation in the Atmosphere. Academic Press.
- MEIJER, G. and, VAN DER VEEN, D. 1957. Acta Botan. Neerl. **6**: 429-433.
- MEIJER, G., and VAN DER VEEN, D. 1960. *ibid.* **9**: 220-223.
- 三浦謹一郎・大井龍夫訳. 1968. 放射エネルギーと生命の起源. Reading from Scientific American. 東京化学同人.
- 応用物理学会編. 1954. 「綜説応用光学下巻」, 金原出版.
- PIRINGER, A. A., and HEINZE, P. H. 1954. Plant Physiol. **29**: 467-472.
- 「理化学辞典」新増補改訂版, 1949, 岩波書店.
- ROESEL, H. A., and HABER, A. H. 1963. Plant Physiol. **38**: 523-532.
- SALISBURY, F.B. 1961. Ann. Rev. Plant Physiol. **12**: 293-326.
- 「生物学辞典」1960, 岩波書店.
- 照明学会編. 1968. 「照明のデータブック」(新編), オーム社.
- SLAYTER, E.M. 1970. Optical Methods in Biology. Wiley Interscience.
- シュルギン. ア. イ. 1967. 「太陽光と植物」, 内島善兵衛訳 1970, 東京大学出版会.
- STOLWIJK, J. A. J. 1954. Mededelingen van de Landbouwhogeschool te Wageningen, Nederland **54**(5): 181-244.
- STOLWIJK, J. A. J., and ZEEVAART, A. D. 1955. Koninkl. Nederl. Akademie van Wetenschappen-Amsterdam. Proceedings, Series C, **58** (No. 3).
- Techniques of Photostimulation in Biology, ed. by CRAWFORD, B. H., *et al.* 1968, North-Holland Publ. Co.
- VAN DER VEEN, R., and MEIJER, G. 1962. Light and Plant Growth. MacMillan Co.
- VAN HEEL, A. C. S., and VELZEL, C. H. F. 1968. 「光とはなにか—その本質をさぐる道程」, 和田昭允・計良辰彦訳 1972, 講談社.
- WASSINK, E.C., and STOLWIJK, J.A.J. 1956. Ann. Rev. Plant Physiol. **7**: 373-400.
- WITHROW, R.B., KLEIN, W.H., and ELSTAD, V. 1957. Plant Physiol. **32**: 453-462.