寄稿

# 熱中症の病型および発症機序
## ―救命のための身体冷却法―

松本 孝朗
中京大学スポーツ科学部
トレーナー学科教授

## はじめに

地球温暖化や都市部のヒートアイランド現象などの影響により、日本の夏季の気温は上昇し、この数年、高温の夏が続いている。２０２４年の熱中症による死者数は、これまでの最多記録１７４５人（２０１０年）を上回り、初めて２０００人を超えたとの速報報道があった。２０２５年は４月、５月とすでに季節外れの高温に見舞われており、夏本番はいったいどうなることかと、心配される。２０１０年の１７４５件の熱中症死亡の発生場所を見ると、学校やスポーツ施設での発生は数例にとどまり、運動やスポーツ活動時の熱中症死者数はほとんど増えていない。これは、公益財団法人日本スポーツ協会をはじめとした関係者が取り組んできた「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック」の発行および啓発活動の大きな成果と言える。しかし、スポーツ活動中に熱中症で救急搬送された数は減少しておらず、また、本来、スポーツはすべての人が安全に楽しめ、身体と精神の健康増進につながるべきものであり、スポーツ活動中に熱中症で亡くなる事例は1例であっても容認できず、さらなる取り組みが求められる。

本稿では、熱中症死亡事故を防止することを最重要課題として議論を進めたい。そのためには、熱中症の中核をなすが一般に命に関わることのない「熱疲労」と死に至るリスクの高い「熱射病」との病態や症状の相違についての理解が重要である。

## 1　熱中症の病型とその発症機序、現場での処置と予防法

熱中症とは、暑さが原因となって発症する「暑熱障害」の総称であり、熱失神、熱けいれん、熱疲労および熱射病の４つが含まれる。発症の原因は主として、脱水と過度の体温上昇であるが、それぞれの発症機序と症状は次のとおりである。また、運動や労働に伴って発生する労作性（運動性）熱中症と運動や労働とは無関係に発生する古典的（非労作性）熱中症とに分類される。近年、わが国における熱中症死亡者の約80％が65歳以上の高齢者であり、約45％が家（庭を含む）で発生している。つまり、高齢者が自宅で亡くなっている、その多くは古典的（非労作性）熱中症と推測されるが、本稿では、労作性（運動性）熱中症を中心に述べたい。

①熱失神

炎天下にじっと立っている場合などにおこる。直射日光による皮膚血管拡張と立位姿勢持続による血液の下肢への貯留によって、脳への血流が減少し、一過性の意識消失（失神発作）をおこすもので、起立性低血圧（立ちくらみ）がその病態である。失神に先立ち、顔面そう白、めまいなどがみられる。

〔現場での処置〕涼しい場所で、下肢を挙上させて臥床させる。

〔予防法〕炎天下でじっと立っていることを避ける。下肢の屈伸運動を行う（下肢の静脈にうっ帯した血液を筋ポンプ作用により心臓へ環流させる）。

②熱けいれん

暑熱環境で長時間運動を行い、たくさん汗をかいた時に、疲労した筋に生じる有痛性のけいれんで、通常、下肢の筋に多くおこるが、上肢や腹筋におこることもある。特に、真水や塩分濃度の低い飲料を補給すると、血液中の塩分濃度が低下し、筋の被刺激性が亢進することでけいれんにつながる。運動時の筋のけいれんは暑さや脱水とは無関係にもおこるが、暑熱環境下での運動時にみられた場合は、熱けいれんとして対処する。また、めまい、頭痛、吐き気などの全身性の症状を伴う場合は、熱疲労の一症状として対処する。

〔現場での処置〕休息をとらせ、静的ストレッチを受動的に行う。市販のスポーツドリンクを飲ませる。

〔予防法〕ナトリウムイオンの欠乏による筋の被刺激性の亢進が原因であり、塩分を含んだ飲料を使用する。食事からの食塩摂取量を増やすことが有効との報告もある。

③熱疲労

熱疲労は熱中症の中核をなす病態である。暑熱環境で長時間運動すると、大量の発汗のため、水分と塩分を失い、循環血液量が減少し（脱水）、脳などの重要臓器への血流が不足する（循環不全）。脱水とそのための循環不全が熱疲労の病態である。その症状は、頭痛、めまい、吐き気、おう吐、脱力感、倦怠感などであり、いずれもカゼ（上気道炎）などでも見られる症状であり、熱中症に特異的ではないため、注意が必要である。体温は正常もしくは軽度上昇するが、40℃を超えることはない。軽度の錯乱などがみられることはあるが、昏睡などの高度な意識障害は来たさない。軽い熱疲労から命に関わる熱射病までは連続した病態であり、判断の難しいこともある。その場合は、熱射病として対処する。通常、治療により回復し、命に関わることはない。数日にわたる大会などでは、連日の脱水が積み重なって、熱疲労や熱射病に至ることがあるので、注意が必要である。

〔現場での処置〕冷所に移動させ、熱放散を妨げる衣服を取り除き、下肢を挙上させ臥床させる。スポーツドリンク（塩分濃度0.1％）あるいは経口補水液（0.3％）を飲ませる。熱射病の鑑別のためには直腸温の測定が望ましい。

〔予防法〕脱水と循環不全がその病態であり、塩分を含んだ飲料を積極的に補給し、脱水を予防する。事前に暑熱順化を獲得する。

④熱射病

熱疲労の病態（脱水と循環不全）がさらに進行すると、脱水と血清浸透圧上昇のため、皮膚血管拡張と発汗の両方が抑制され、熱放散量が減少し、体温がさらに上昇する悪循環に陥る。体温（特に脳温）が過度（40℃以上）に上昇し、そのため脳機能が障害され、意識障害や体温調節機能不全（発汗停止）を来たした病態が熱射病である。ただし、運動時の熱射病では、発汗が続いていることも

あるため、発汗があることで熱射病を否定してはならない。意識障害の有無は重要で、昏睡だけではなく、応答が鈍い、何となく言動がおかしい、日時や場所がわからないなどの軽いものも意識障害として扱う。多臓器不全やＤＩＣ（播種性血管内凝固症候群）などの合併症を併発し、死に至る。一旦、熱射病を発症すると、迅速かつ適切な救急救命処置を行っても救命できないことがあるため、熱疲労から熱射病への進展を防止することが重要である。

〔現場での処置〕運動中に倒れて立ち上がれない場合や症状から熱射病が疑われる場合には、直腸温の測定が有用である。熱射病の予後を決定する第一の要因は高体温の程度とその曝露（ばくろ）時間であり、救命のためにはできる限り速やかに体温を39℃まで下げる必要がある。そのため、冷却は現場で開始し、他に命に関わる合併症がなければ、現場で完了させることが望ましい。

各種の身体冷却法の中で、「氷水浴（冷水浴）法」は、体温低下率（0・15～0・35℃／分）が最大であり、救命率も最も高い。水道水を全身にかけ続ける「水道水散布法」が体温低下率：0・14℃／分と次いで有効である。かつて推奨されていた首、腋窩（えきか）、そ径部にアイスパックなどを当てる方法は、体温低下率が低く単独での使用は推奨できない。

「氷水浴（冷水浴）法」と「水道水散布法」の動画が、日本スポーツ協会および日本スポーツ振興センターのＷｅｂサイトに供覧されているので、是非、参照いただきたい※。

〔予防法〕高温多湿の環境での高強度運動、暑熱順化の欠如、低いトレーニングレベルが誘引となるが、暑熱順化した高レベルのアスリートであっても、その熱産生が熱放散を大きく凌駕すれば発症しうる。脱水の予防のため、こまめな水分補給を心がけ（③熱疲労の項を参照）、休息を多くとる。現場では、暑さに関する気象の４要因（気温、湿度、輻射熱（ふくしゃねつ）、気流）を反映した指標であるＷＢＧＴ（湿球黒球温度）を測定。これを基に、「熱中症予防運動指針」［表1］に従って、その日の運動の強度や時間（練習メニュー）を調節する。

## 2　熱中症の発症メカニズム

熱中症の各病型の発症メカニズムを［図1］にまとめ

| WBGT | 湿球温度 | 乾球温度 | | |
|---|---|---|---|---|
| 31℃超 | 27℃超 | 35℃超 | 運動は原則中止 | 特別の場合以外は運動を中止する。特に子どもの場合には中止すべき。 |
| 28℃～31℃ | 24℃～27℃ | 31℃～35℃ | 厳重警戒（激しい運動は中止） | 熱中症の危険性が高いので、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。10～20 分おきに休憩をとり水分･塩分を補給する。暑さに弱い人※は運動を軽減または中止。 |
| 25℃～28℃ | 21℃～24℃ | 28℃～31℃ | 警戒（積極的に休息） | 熱中症の危険が増すので、積極的に休息をとり適宜、水分・塩分を補給する。激しい運動では、30分おきくらいに休憩をとる。 |
| 21℃～25℃ | 18℃～21℃ | 24℃～28℃ | 注意（積極的に水分補給） | 熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。 |
| 21℃未満 | 18℃未満 | 24℃未満 | ほぼ安全（適宜水分補給） | 通常は熱中症の危険は小さいが、適宜、水分・塩分の補給は必要である。市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。 |

[表1]熱中症予防運動指針（日本スポーツ協会、「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック」より）

1) 環境条件の評価はWBGT（暑さ指数とも言われる）の使用が望ましい。
2) 乾球温度（気温）を用いる場合には、湿度に注意する。湿度が高ければ、1ランク厳しい環境基準の運動指針を適用する。
3)熱中症の発症のリスクは個人差が大きく、運動強度も大きく関係する。
運動指針は平均的な目安であり、スポーツ現場では個人差や競技特性に配慮する。
※暑さに弱い人：体力の低い人、肥満の人や暑さに慣れていない人など。

た。ヒトは暑さにさらされると脱衣して薄着になる、涼しい環境に移動する、あるいは扇風機で風を送るなどの体温の上昇を避けるための行動（行動性体温調節）を行う。一方で、体温が上がると、皮膚血管が拡張し皮膚血流量が増加して、皮膚からの熱放散（非蒸発性熱放散）

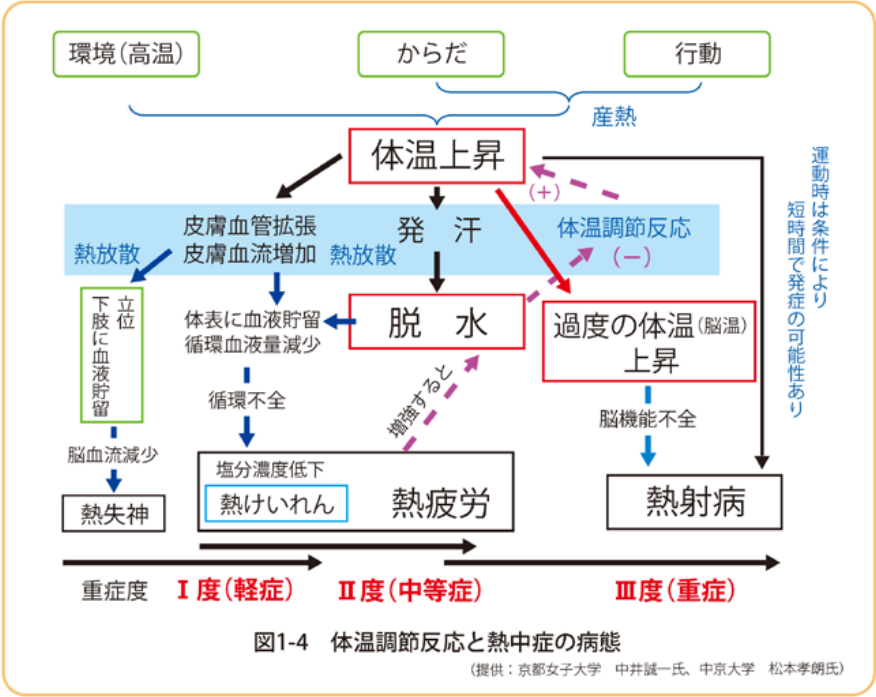



図1-4　体温調節反応と熱中症の病態

（提供：京都女子大学　中井誠一氏、中京大学　松本孝朗氏）

[図1]高温環境下における熱中症発症メカニズム。図の最下段に、重症度分類（Ⅰ度～Ⅲ度）との対応を付記した。

を増加させ、さらに高温になると発汗（蒸発性熱放散）がおきる。これらは自分の意思とは関係なく自動的に働くので、自律性体温調節と呼ばれる。皮膚血管拡張と発汗はどちらも血液を材料としているため、循環血漿量（けっしょうりょう）の減少（脱水）を生じる。適切な水分補給がされない中で、長時間の運動を継続すると、「脱水」の増強とその結果生じる体温調節反応（発汗、皮膚血管拡張）の抑制により、「過度の体温上昇」が惹起（じゃっき）され、熱射病の発症に至る。このような理由により、こまめな水分補給により「脱水」を防ぐことが、運動パフォーマンス維持と同時に熱中症の予防にもつながる。

## 3　熱中症予防運動指針と現場でのＷＢＧＴ計の活用

ＷＢＧＴが高くなるほど熱中症の発生は増加する傾向にある。運動の現場でＷＢＧＴを測定し、［表1］に示した運動指針を目安に、どのように運動したらよいかを判断する。学校管理下の熱中症死亡事故の解析からは、原因となったスポーツ種目は多岐にわたるが、持久走やダッシュの繰り返しなど継続するランニングで多く発生している。ＷＢＧＴが高い場合には、身体への熱負荷が大きいランニングなどの運動を避け、より技術的で熱負荷の小さい運動に変更する、休憩・飲水時間を多く取る、集合や説明は日陰で行うなどの配慮が望まれる。近年、小型・携帯型のＷＢＧＴ計がかなり体育・スポーツの現場に普及してきた。しかし頻繁にアラームが鳴ることを嫌ってか、日陰に設置しているケースが散見される。「黒球」で太陽の輻射熱の強さを計測するためには、必ず、直射日光の当たる「日なた」に設置すべきである。

## 4　熱疲労からの熱射病への進展の防止

軽い熱疲労と思われても、そのまま無理に運動を続け、熱疲労の病態がさらに進行すると、脱水と血清浸透圧上昇のために、皮膚血管拡張や発汗が抑制され、その結果、熱放散量が減少し、蓄熱量がより増加し、体温がさらに上昇する悪循環に陥り、40℃以上の高体温（脳のオーバーヒート）に至る。そのため、脳の機能が障害され、意識障害や体温調節機能不全（発汗停止）を来たしたものが熱射病である。なお、熱疲労の病態（脱水）を経ずに、短

時間（1時間以内）に体温が過度に上昇し、熱射病に至ることもあり、注意が必要である（［図1］の右端）。熱射病では特に意識障害の有無が重要で、昏睡だけではなく、応答が鈍い、何となく言動がおかしい、日時や場所がわからないなどの軽いものも意識障害として扱う。

本稿前半でも述べたように、一旦熱射病を発症すると、的確かつスピーディーに救急救命処置を行っても救命できない可能性がある。そのため、とにかく熱疲労から熱射病への進展を妨げることが肝要だ。言い換えれば、熱疲労は無理な運動を避けるための防衛反応とみなすこともでき、熱疲労の段階で運動を中止すれば、生命に関わる重篤な熱射病になる危険性を回避できる。

その意味で、スポーツ選手自身が熱疲労の症状をよく理解し、暑い中での運動中に、「頭痛、めまい、吐き気」を感じたら、「あっ、熱疲労になっている」と考え、①ペースを落とす、②もっとドリンクを飲む、③身体を冷やす、などの対応を行うことが重要である。スポーツ指導者は、選手がいつでも、一々許可を受けることなく、気軽に水分補給できる環境を整備し、また、練習や試合において、常に選手の発するサインに目を配り、「大丈夫か」と声をかけ、必要に応じて休ませる等の対応をとりたい。

## 5　運動時の水分補給

上述のように、熱中症の発生には「脱水」が大きく関与しており、そのため、こまめな水分補給で脱水を防ぐことが、熱中症の予防につながる。高温環境下で運動すると、ヒトの発汗量は1時間に2.5ℓにも及ぶ。このような大量発汗によって、体重が2％減るような脱水状態（2％脱水）になると、運動能力も低下し、熱中症のリスクも生じてくる。一方、胃から十二指腸への内容物の移送は1時間に1.5ℓ程度であり、これ以上の量をまとめて飲んだとしても胃内に貯留してしまう。こまめな水分補給が必要とされる所以である。

発汗量は個人差が大きく、運動強度や環境条件によっても変わるため、どれだけ飲めばよいか、一概には言えない。また、海外の市民マラソンでは飲料の飲み過ぎによる低ナトリウム血症（脳浮腫）による死亡例も報告されており、むやみに多く飲むことも薦められない。日本スポーツ協会「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブッ

ク」では、「のどの渇き」に応じて自由に飲むことを推奨している。自由飲水の結果、多少の脱水が生じるが、その程度はおよそ2％以内におさまる。

補給する飲料の必要条件は、0.1～0.2％の塩分と糖分を含んだ糖質・電解質溶液であり、多くのスポーツ飲料の組成がこれに合致する。１００㎖あたりナトリウム40㎎が0.1％の塩分に相当する。飲料は常温であっても、脱水の予防・補正には有効であるが、低温であるほど物理的な身体冷却効果（冷たい物が体内に入ることで体温が下がる）も期待できる。ただし、あまり冷たいと下痢になることもあるため、一般には5～15℃くらいの温度が推奨される。

## 6　暑熱順化の重要性

繰り返し暑さに曝露される、あるいは暑熱下での運動を繰り返すと、発汗量が増加する暑熱順化が生じる。一定の運動負荷に対する体温上昇が小さくなり、心拍数も低く抑えられ、暑さにより耐えられるようになる。わが国のような明瞭な四季のある地域では、毎年夏に向けて短期暑熱順化（季節順化）を繰り返す。暑熱順化していない6月には、暑熱順化の成立する7月に比べ約3℃低い気温で熱中症が発生する。同様に、梅雨明けなどで気温が急に上昇した時や部活動の合宿初日や休み明けは、暑熱順化が欠如しており、熱中症のリスクが高い。

## おわりに

熱中症死亡事故を防止することを最重要課題として、熱中症の4病型の病態生理、発症メカニズムを考察した。熱中症予防のためには、熱中症の中核をなすが一般に命に関わることのない熱疲労と、死に至るリスクの高い熱射病との病態生理や症状の相違についての理解が重要である。また、熱射病が疑われた場合の現場での身体冷却法として、氷水浴（冷水浴）法、水道水散布法（扇風機も併用）を紹介した。

※公益財団法人日本スポーツ協会 啓発動画 ｃｈ．５ 身体冷却法―応急処置編―２０２１
https://www.japan-sports.or.jp/medicine/heatstroke/tabid1437.html#movie
独立行政法人日本スポーツ振興センター 動画 熱中症を予防しよう―知って防ごう熱中症―
https://www.youtube.com/watch?v=55HraW-3P4k

寄稿

［私立大学のミライー研究編ー］

# 錯視の応用と社会への貢献

北岡 明佳
立命館大学総合心理学部教授

## 1 錯視研究の現状

「私立大学のミライ」というタイトルでの原稿依頼を頂いた。［図1］は「黒と赤と橙のコンポジション」というタイトルの錯視デザインである。本稿ではこの種の画像について語りたい。

筆者は錯視の研究者なので、本稿のタイトルは「錯視の応用と社会への貢献」である。期待されている執筆内容は、社会に役立っている錯視研究の応用のレビューである。ところが、私はそのような例を知らない。たとえば、化粧に錯視の知見が役立っているように思われるが、おそらくすべては個々のメークアップアーティストの創造によるもので、実験心理学的研究によって得られた知見を応用したものではあるまい。道路にだまし絵立体（イメージハンプという）を描いてクルマの速度を抑える試みについては錯視の応用と言えないこともないが、あの種のだまし絵（アナモルフォーシス）は特定の一点から見た時に最大の効果を発揮するものであるため、実際にクルマで走行して観察すると効果が少ない。

それでは、どこから見てもイメージハンプとして見える錯視画像はないのかというと、既に私は提案している。

［図1］黒と赤と橙のコンポジション

［図2］がそれである。どこから見ても幅の狭い領域が凸に見えるので、衝撃を回避しようとクルマのドライバーが速度を落とすことが大いに期待できる。しかし、今のところ採用例はない。私の広報不足、技術的な困難性、需要の少なさが理由と考えられる。

［図2］イメージハンプに使える錯視画像の提案例

## 2　既存の錯視デザインで事業の魅力化を

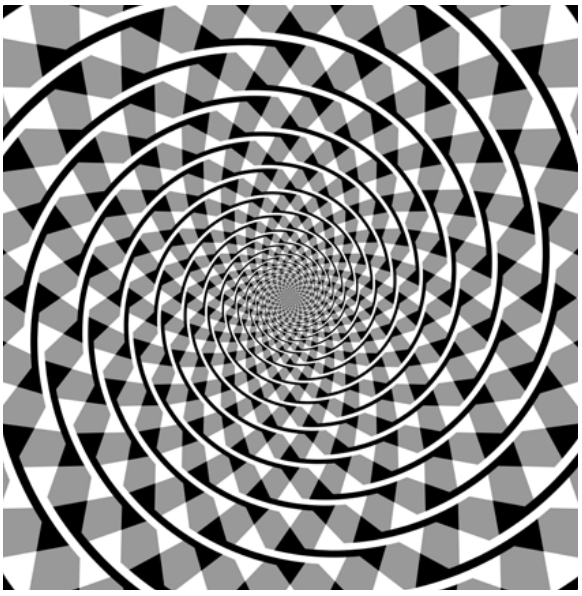
基礎研究をしているとそのアカウンタビリティを問われる。すなわち、「それは何の役に立つのですか?」と聞かれる。そこで、いろいろな錯視を用いたさまざまな提案を用意している。その中でも本稿では錯視自体の特性をそのまま生かした提案について述べたい。「観光への応用」である。

それについて述べる前に、まず錯視自体の特性とは何かについて説明する。錯視とは視覚性の錯覚である。錯覚とは対象の知覚とその「客観的な」性質の知識に不一致のある知覚である。いわば「間違った」知覚である。しかし、それだけではない。知識との不一致のある視知覚のうち、おもしろいもの、美しいもの、魅力のあるものが錯視なのである。つまり、錯視の作り方を知っていれば、ある事業で使いたい状況に合わせて錯視のデザインを取り入れるなどして、事業の魅力度や集客力を高められると期待できる。それを「観光への応用」と表現してみた。

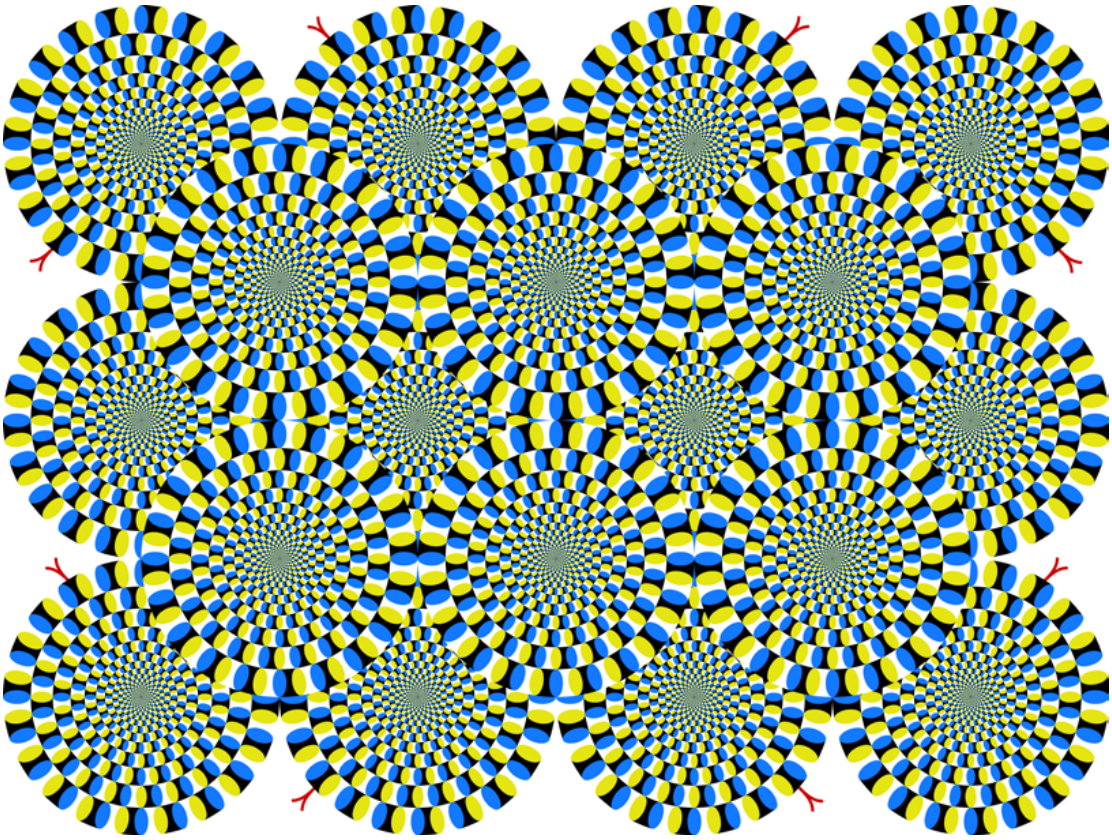
1つの方法としては、既存の錯視デザインを装飾とし

て採用するという方法がある。20世紀においては、錯視デザインで不動の人気ナンバーワンは、1908年に学術誌に発表された「フレーザーの渦巻き錯視」［図3］であった。同心円に配置した縞模様が渦巻きに見えるという錯視である。

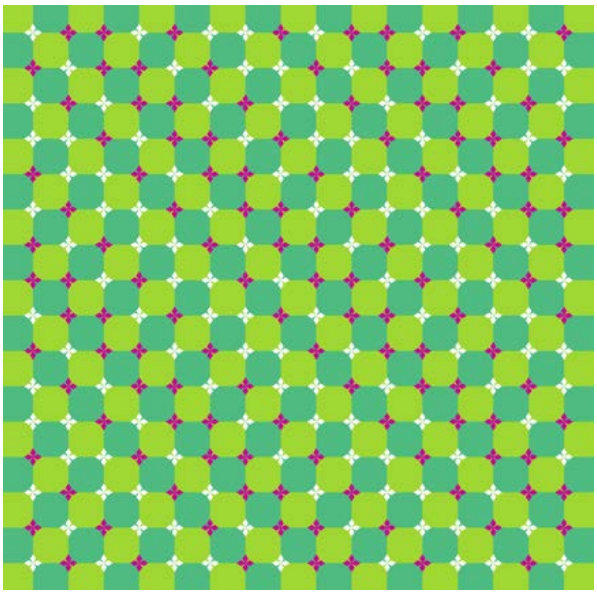
錯視デザインの現在の人気の動向については情報源となるものがないので、自分の作品に限定して紹介する。人気ナンバーワンは断トツで「蛇の回転」［図4］である。円盤がひとりでに動いて見える錯視のデザインである。ナンバーツーは「サクラソウの畑」［図



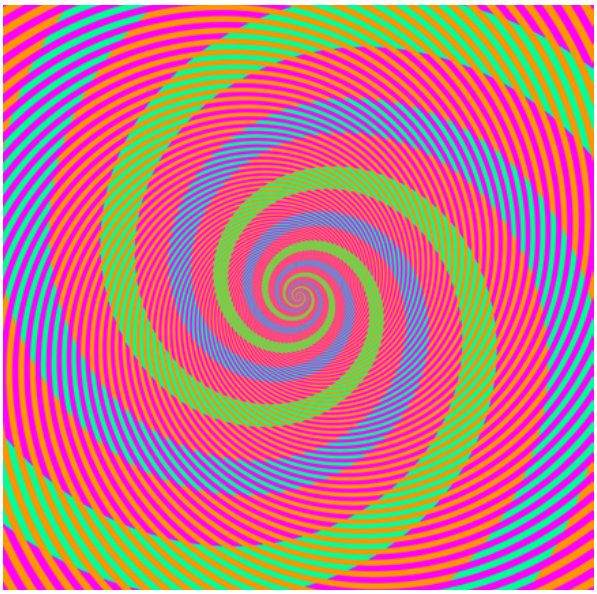
［図3］フレーザーの渦巻き錯視



［図4］蛇の回転



[図5]サクラソウの畑

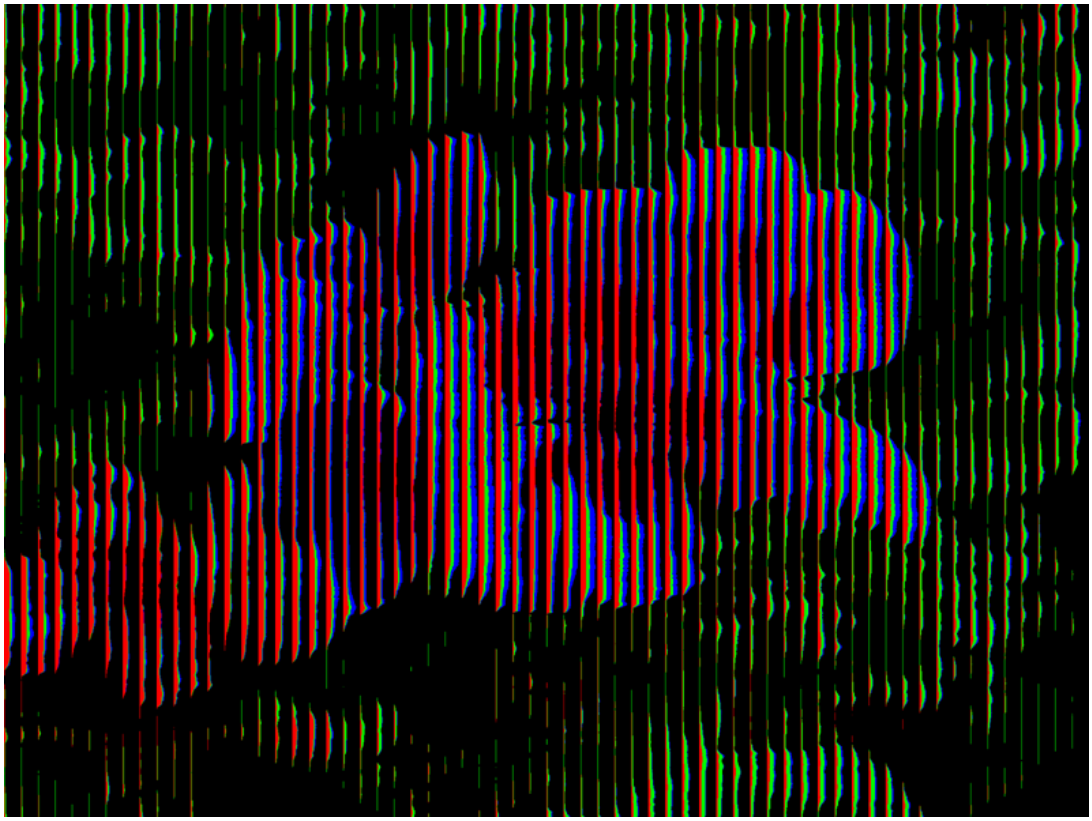


[図6]水色と黄緑の渦巻き

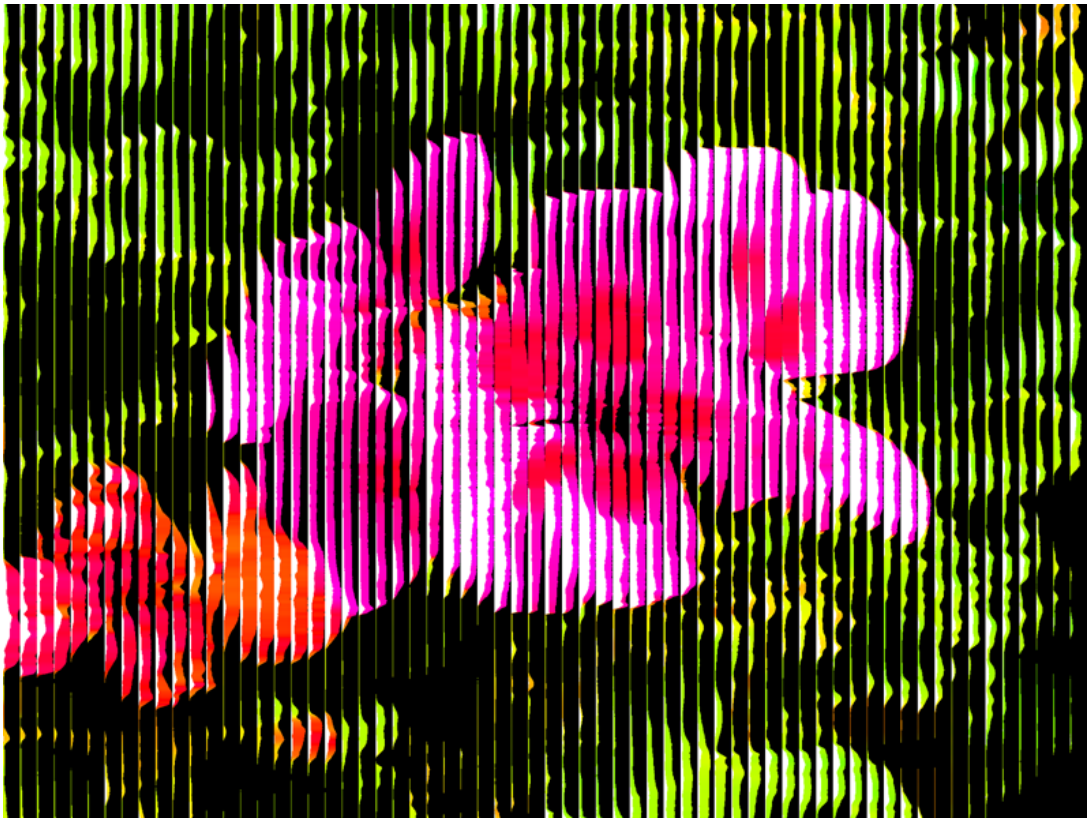
5」である。市松模様が波打って見える錯視のデザインである。ナンバースリーは「水色と黄緑の渦巻き」[図6]である。渦巻きには水色のものと黄緑色のものがあるように見えるが、どちらも同じ色であるという色の錯視のデザインである。

## 3　錯視画像を自分でデザインするのも一手

一方、このような既存の作品を利用するというのも手だが、自分で錯視デザインを制作するというアプローチもある。それを実践するためには錯視についての知識が必要なので見かけよりも難度が高いと思われるが、比較的簡単な錯視工作がある。「並置混色技法」である。赤・緑・青の3つの原色があれば、色を混ぜ合わせることによって豊かな色を表現できる。その中でも、原色を異なる位置に並べる方式を並置混色と呼ぶ。たとえば、テレビ、PC、スマホのディスプレーは並置混色を採用している。もっとも、ディスプレーでは原色の画素は弁別できないほど小さい。一方、原色の画素を弁別できるまで大きくした場合では、画像は劣化する（解像度は下がる）が、元の画像が何であるかはある程度わかる。[図7]は



[図7]赤緑青を原色とした並置混色変換後の画像



[図8]オストワルト表色系的並置混色変換後の画像

この状態で表した花の写真である。この時、彩度の高い原色も知覚されるためかもしれないが、画像の魅力度はある程度上昇する（筆者の主観比）。

ここでおすすめなのが、筆者が開発した「オストワルト表色系的並置混色変換」である。オストワルト表色系では、色を黒色・白色・純色に分解する。この方法で変換して得られた画像が［図8］である。赤・緑・青の3つの原色に並置混色分解すると平均輝度（画像の明るさ）が元の画像の約3分の1になってしまう［図7］のだが、オストワルト表色系的並置混色変換では平均輝度は変わらない［図8］。冒頭で示した［図1］もそのようにして作成したものである。

［図1］や［図8］のような画像を作る筆者作のツールは、左記Ｗｅｂサイト上で公開されている。任意の画像を変換することができる。研究用の自作プログラムなので使い勝手に難はあると思うが、お試しいただければ幸いである。

https://www.psy.ritsumei.ac.jp/akitaoka/JavaScript-Ostwald01f.html