

◇パイロットのための航空医学

操縦者の見張り義務と コリジョンコース (Collision course) について

財団法人 航空医学研究センター

津久井 一平

はじめに

俗に航空機事故は続くと言われますが、2001年は大型機と小型機にニアミス（1月）と空中衝突（5月）事故があり、両事故ともそれぞれの領域での運航システム上の問題点が指摘されました。本稿では、航空眼科の観点から、空中衝突の一因とされる、いわゆるコリジョンコースについて紹介したいと思います。

空中衝突の事例

昨年5月19日に発生した、三重県桑名市上空での小型機とヘリコプターの衝突事故については、訓練のあり方について、運航管理や訓練空域の問題が取り上げられていますが、一方で、航空法第71条の2に述べられている“操縦者の見張り義務”についての指摘がありました。

本邦において、民間機が関係した航空機同士の空中衝突・接触による事故（グライダーや超軽量動力機を除いて）は、上記1例を加えておよそ8件を数えます。これらのうち、その原因にいわゆるコリジョンコースが強く疑われた一例が、平成9年8月21日、茨城県竜ヶ崎市上空で発生した操縦練習中の小型機とヘリコプターによる空中衝突事故です¹⁾。事故調査委員会の報告書によりますと、衝突時刻は16時40分過ぎ、もやによる若干の視程の悪さは考えられるものの見晴らしは良好で、両機は進路をほぼ直交したまま、北北東に直進していた自衛隊のヘリコプターの右後方胴体部に、西日を受けながら西北西に直進していた単独飛行中の小型機が衝突

(高度1300ft前後、対地速度各100kt前後)しましたとされています。原因として、両機の機長の見張りが十分でなかったことが推定されており、両機がコリジョンコースの関係位置を維持して飛行していた可能性が高いと考えられています。

コリジョンコース（衝突コース）とは

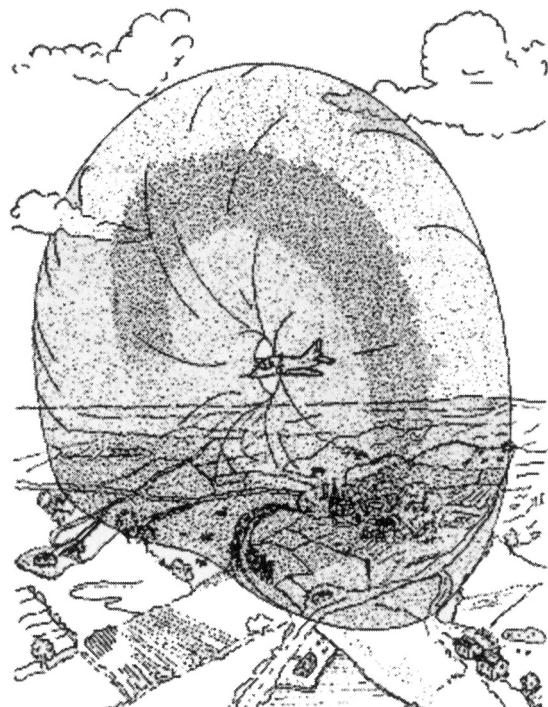


図-1 周辺視により見えにくい部分

図-1は、1983年のイギリスの医学雑誌に掲載されたものです²⁾。高速で移動する航空機からは、視野のかなり広範な部分（影の部分）が見えにくことを示しています。

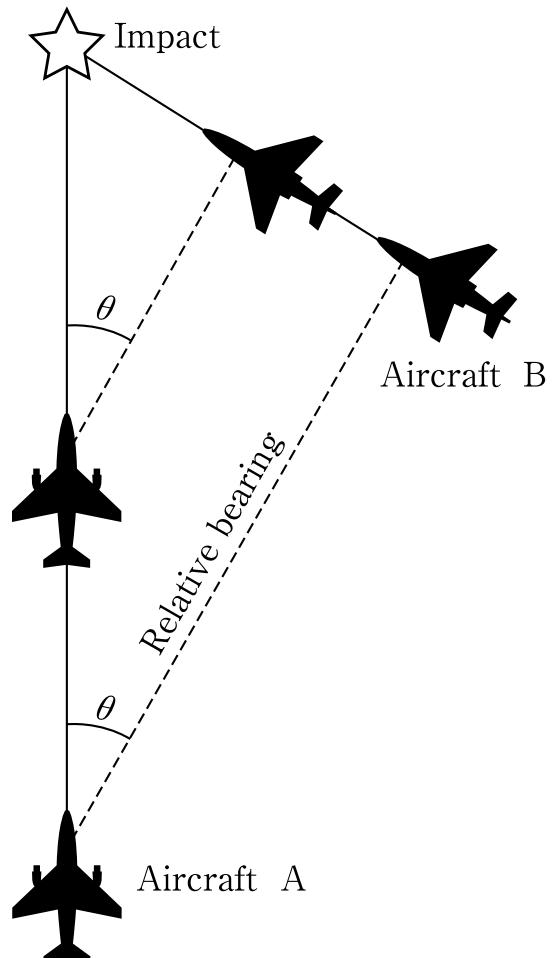
同年に出されたアメリカ連邦航空局のアドバイザリーサーキュラー (FAA AC90-48C)によりますと、1978年から1982年の5年間に米国内で152件の空中衝突 (midair collision : MAC) と、2241件のニアミス (near midair collision : NMAC) が発生しています。これらの多くは解析の結果、晴天の昼間に起こっているのが特長であることが分かりました。現在のところ全世界では、MACは年間20件程度、また報告されるNMACは年間約500件とされています。

よく、ぶつかる飛行機は見えないと言われますが、なぜでしょうか。

2機の飛行機が直進している場合、衝突するのは両機が同じ角度を保ちながら進んで一点で交わった場合です（図一2）³⁾。このような相対位置になって飛行する状態をコリジョンコースと言い、もちろん回避しなければ衝突は免れ得ません。言いかえれば、一方がミサイルなら飛行機に百発百中となるわけです⁴⁾。

コリジョンコースの関係になると2機はそれぞれ同じ方位を保ち、互いを結ぶ線は常に平行のまま、交差する（衝突する）点を頂点とした相似三角形が次第に小さくなって行きます。この時、最も注意しなければならないのは、操縦者から見える他機が静止して見えることです。つまり、静止して見えるから発見しにくく、後になって何故と思われるほど衝突を回避しにくいのです。

いろいろな交通手段にとって衝突事故は共通した課題であり、コリジョンコースもその例外ではありません。船舶や自動車でも解析が行われており、例えば自動車に関するある調査では、見通しの良い交差点での出会い頭事故による死亡事故件数は、全死亡事故の5-6%にものぼるとしています⁵⁾。全く障害物のない、田んぼの畦道のような交差点で、激しい衝突が起きているのです。注意すれば、見えていないわけがない見通しの良い交差点です。しかも、自動車でのこのような衝突も、昼間にほとんど集中しているのが特長とされています。この原因もコリジョンコース、すなわちお互いに相手



図一2 コリジョンコース（文献3より）

が止まって見えるため、外部監視の注意を怠ると極めて発見しにくくなる落とし穴があるからなのです。

それでは、静止物体を発見しにくいことは直感的にも分かりますが、何故、動いている物体が止まって見えるのでしょうか。対策を考える上で、もう少し詳しく理解しておきましょう。

視機能（眼の働き）の特長

カメラのフィルムに例えられる眼の網膜には、約2億の視細胞が並んでいるといわれます。この網膜に入った光刺激は、視覚伝導路と呼ばれる神経線維を伝わって大脳に達します。網膜の構造を、詳しく見てみましょう（図一3）。

光を受容する細胞は、錐体と杆体の2つから

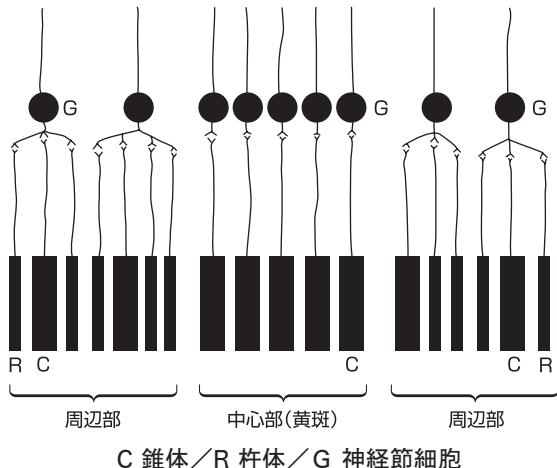


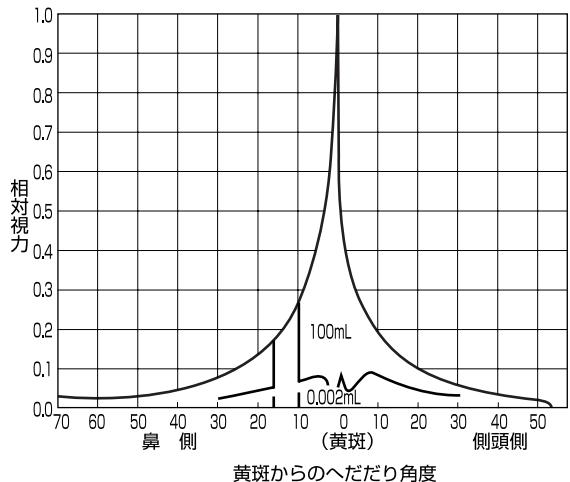
図-3 網膜の細胞

成ることはよくご存知のことだと思います。錐体は網膜の中心部（黄斑）に集中して存在しますが、そこから周辺に行くに従い急速に数が減少して、杆体が占めるようになります。視覚的に最も鋭敏な中心部は、わずか2度程度の広がりしかありません。錐体、杆体でキャッチされた光は、次に神経節細胞に伝わりますが、この神経節細胞が視機能上重要な役割を演じています。神経節細胞は形の上で2種類あり、大型のA細胞（P_α細胞とも言います）と小型のB細胞（P_β細胞）に分かれています。A細胞は網膜の周辺部に多く、動く物体の感知に優れていて静止している物の検出に弱い特長があります。主として、運動やコントラスト、奥行き知覚などを受け持つと考えられています。一方、B細胞は中心部に多く、主に形態覚と色覚の情報伝達を得意とする細胞で、フィルムで言えばカラー・フィルムといったところです。言いかえれば、A細胞は時間分解能に優れ、B細胞は空間分解能に優れていて、両者は各自独立した情報処理を行っているわけです。以前、錐体と杆体で言っていた機能の違いは、現在ではこのように解釈されています。

網膜の周辺部を占めるA細胞が、動く物体には感度良好であること、コントラストつまり白黒に強い（光に敏感）こと、逆に、動きが無く止まって見える物には極めて弱いことを知つておく必要があります。

では、網膜の中心部と周辺部とはどのように区別されるのでしょうか。普通、私たちが視力と言っているのは遠距離視力のことですが、黄斑からわずか10度隔たるだけで遠距離視力は激減してしまうことからも、中心部とは極めて狭い範囲を指します（表-1）^{6) 7)}。逆に、これらの特性を前提に、例えば夜間のフライトでは、コントラスト感度の優れた周辺視を活用することが勧められています。夜間の暗がりでは、何かを見つめる時に必ずしも眼の中心で見ようとせず、少しずらして見ることで却って物が判別し易くなる場合もあるわけです。

表-1 網膜の部位による視力の違い（文献6,7より）



認知から反応まで

空中衝突のほとんどは昼間に発生し、その70%以上が直線、水平飛行中と言われます^{6) 8)}。IFR（計器飛行）とVFR（有視界飛行）の別を問わず、外部監視について、人と飛行機が一体となったシステムとしての動特性を知り、Perception→Recognition→Operationの原則を理解しておく必要があります。

ある実験によると、飛行中何かの物体を見つけてからその物を判別し、回避操作をして実際に航空機が対応するまでの時間は、約5秒とされています（表-2）^{6) 7)}。それをもとに、ある速度（縦軸）で飛行中の機が、衝突を避けるために必要な他機との距離（横軸）を計算した

表－2 航空機を発見してから機体が方向をかえるまでの時間（文献6, 7より）

	必要時間	累積時間
感覚化時間	0.1秒	0.10秒
眼を動かすための時間	0.175	0.275
眼球運動	0.05	0.325
中心視	0.07	0.395
知覚化時間	0.65	1.045
知覚に要する時間（小計）	1.045	
判断	2	3.0451
操舵	0.4	3.445
航空機の運動	2	5.4451

のが表－3⁶⁾です。もちろん表－2の値は、最良の条件で得られた推定値であり、実際の飛行条件に対しては最小限度の所要時間と考えるべきです。

他機が正面から接近する場合は、この倍の距離を要することになります。

高速で移動する航空機の外部監視で、外部の物体を視認した後、計器に視線を移してから再び遠方の物体に焦点を合わせるまでの時間も重要です。

このような眼の動きにかかる時間について、表－3と同様に、衝突を避けるために必要な他機との距離を示したのが表－4⁶⁾です。

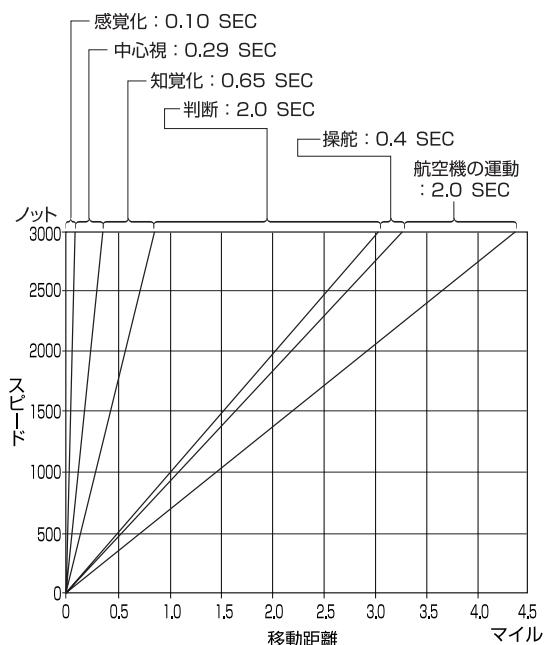
一般に、40歳を越えると眼の調節機能は劣化し始めて、いわゆる加齢現象が起こるとされています。例えば、年齢と共に遠近の物体に焦点を合わせにくくなることは、誰もが実感することです。表－4の数値も、表－2、表－3同様、理想の状態で得られた実験値であり、最小限の値と考えるべきです。

衝突の回避

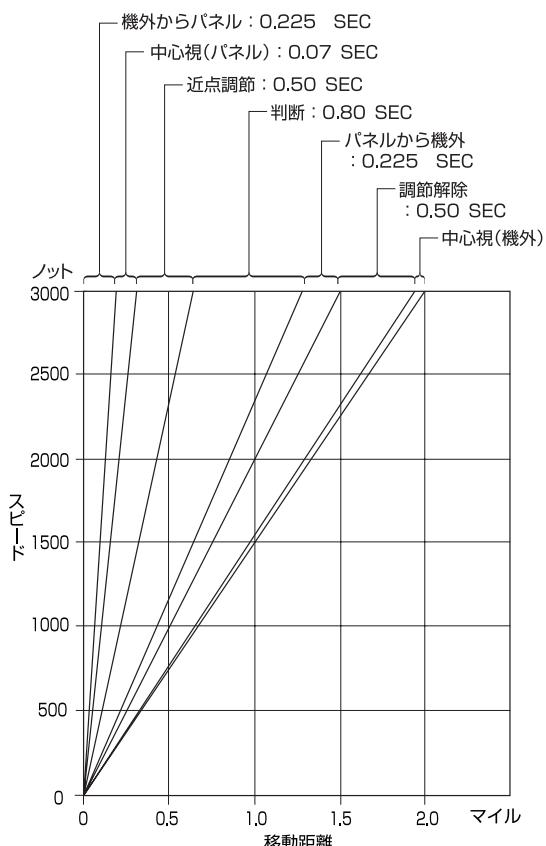
FAR Part91.113 (b) では、IFR と VFR の別なく空中衝突の回避義務について、外部監視の要領を“See and Avoid”と表現しています。

さらに、前出の FAA のアドバイザリーサーキュラーでも、本来対象物体もなく焦点の合わせにくい飛行中の外部監視については、パネルをスキャンするのと同様に、中心視で全視界を

表－3 回避動作中の自機のスピードと移動距離（文献6より改変）



表－4 目の運動中の自機のスピードと移動距離（文献6より改変）



規則正しく注意深く行うよう指導しています。具体的には、スキャン時の眼の動きは一回につき10度以内とし、一箇所の視認時間は1秒以上と述べています。また、眼の動きを止め焦点を合わせて視認する際には、動いているものを見つけやすいA細胞の特性を生かして周辺視を効かすこと、その際絶対忘れてならないこととして、他機との相対位置が変化しないとき、或いは他機の大きさが変化して大きく見えてきたときはコリジョンコースにあると判断して、素早く適切な対応を取るよう指導しています。

外部監視の方法として“search and detect”、つまりFAAの表現を一步進めて、積極的に探し発見していくべきとする考えもあります⁹⁾。本来、何もない空間を見つめていると、眼はempty-field myopia(空中近視)と言われる状態になり、手近かなところに焦点が合ってしまって遠くの物体が見えにくくなります。また、何もない空間を見る眼の動きは決して滑らかではなく、サッケードと言われる断続的な動きをします。つまり、早過ぎるスキャンでは、途中を飛ばして見てない空間を生じかねません。そこで、探している範囲に飛行機がいるものと予想し、空中近視を避けるために遠方の地形物などにできるだけ焦点を合わせてからスキャンを開始すること、またサッケード運動の弱点を補うために、数秒間(例えは、3-5秒間)づつ眼の動きを止めてスキャンすることを勧めるものです。

表-5 コリジョンコースにおける相手機の発見距離

方向	予め相手機の方位を知らされている航空機関士	パイロット	
		相手機のあることのみ知られた場合	相手機の情報がない場合
0°(直進)	11マイル	5マイル	3.5マイル
30° 左	14	4.5	5
60° 左	12	4.5	4.5
100° 左	10.5	4.75	3.5

視機能には、以上のような身体的な特性以外に、注意力や集中力といった心理的、精神的状態が加味されることは言うまでも有りません。

表-5は、予めコリジョンコースに入る他機の具体的な情報を知らされているフライトエンジニアに対して、同機を操縦するパイロットに与えられた情報の多寡によって、発見できる距離がいかに異なるかを実験的に検証したデータです。このデータは、単に眼の特性を理解するだけでなく、乗務にあたって心身の状態を良好に保ち、外部監視を意識的に行うことの重要性を示しています。

まとめ

以上、コリジョンコースに起因する衝突事故で大切なことは、周辺から接近中の、動いているはずの物体が静止して見えてしまう人の眼の特性を知ることです。つまり、視界の周辺部に位置関係が変わらない物体を認めたとき、その大きさが大きく変化したと感じたら、直ちに自機とコリジョンコースに入っている他機ではないかと気づくことです。その意味で、過去の事故例から外部監視の重要性を再認識する必要があります。今後、航空機に関わる技術的な開発は、飛躍的に発展すると思われます。しかし、航空機というシステムを統合する人の役割の重要性は、簡単に代えられるものではありません。人の特性を知り、それを活かしました補おうとすることは、交通の安全を願う者の共通のテーマだと思われます。

参考文献：

- 1) 航空事故調査委員会：航空事故調査報告書 98-4. 1998.
- 2) Harding. R. M., Mills. F. J.:Function of the special senses in flight : I : Vision and spatial orientation. BMJ, 286 : 1728-1731, 1983.
- 3) 中村彰男, 矢倉成幸：航空環境. 上田泰(監修)：臨床航空医学. 航空医学研究センター, 鳳鳴堂書店, 東京, 33-34, 1995.
- 4) 加藤寛一郎：ニアミス-40秒内の決断. 講談社, 東京, 1992.
- 5) 藤田和男, 内田信行, 片山硬：身通しの良

- い交差点での出会い頭事故の調査—死亡事故の特徴—. 自動車研究, 20 : 193-196, 1998.
- 6) Wulfeck. J. W., et al : Vision in Military Aviation : Air-To-Air Visibility.
Wright Air Development Center, 211-236, 1958.
- 7) 池上晴夫 (編著) : 航空医学 飛行とからだ. 鳳文書林, 東京, 91-110, 1971.
- 8) 岡野正治 (編著) : 事故のモニタージュ (IV). 全日本空輸株式会社 総合安全推進委員会／事務局, 東京, 1992.
- 9) Krause. S. S., : Collision Avoidance Must Go Beyond "See and Avoid" to "Search and Detect". Flight Safety Digest, 16 : 1-7, 1997.