

■S4 群（宇宙・環境・社会）－ 6 編（安全・安心・安定）

2 章 個別技術

【本章の構成】

本章では以下について解説する.

- 2-1 交通安全分野
- 2-2 製品安全分野
- 2-3 産業安全分野
- 2-4 原子力分野
- 2-5 医療分野
- 2-6 食品分野
- 2-7 防災・防犯分野
- 2-8 環境分野

■S4 群－6 編－2 章

2-1 交通安全分野

2-1-1 鉄 道

(執筆者：中村英夫) [2011 年 11 月 受領]

鉄道には、軌道、土木、電車線、信号、車両、通信、運転といった様々なサブシステムが有機的に機能している。これらサブシステムの何れも安全と無関係のものではなく、それぞれ万全な取組みが求められる。鉄道では、構成する各機能要素そのものに対する徹底した RISK 低減の努力が、今日の安全性水準を保障している。一方、鉄道には、高速かつ高密度運転を実現するための能動的な安全の仕組みが重要な役割を演じている。交通システムにおける鉄道の安全という場合には、この特徴的な仕組み（列車制御）にフォーカスを当てた議論がなされることが多い。本知識ベースとしても、この列車制御について紹介する。

高速高密度運転を安全に実現するには、

- ① 駅中間での間隔制御（追突防止）
- ② 単線区間での運転方向制御（衝突防止）
- ③ 駅構内での走行路の確保（追突・衝突防止）

を図るための仕組みが不可欠である。また、これら制御の基本となる原理が「閉そく」と呼ばれるもので、定められた区間には 1 列車の走行のみを許容するという考え方である。

(1) 間隔制御

追突の防止には、閉そく区間への進入を許容するか禁止するかの合図が用いられ、信号へと発展した。やがて乗務員の操縦指導などを目的に、速度信号が登場する。一方、速度信号が完備しても人間のミスによる事故は防止できない。このため、停止信号機に接近したときに乗務員に警報を与える装置の開発が行われ、ATS（Automatic Train Stop、自動列車停止装置）と姿を変え、国鉄では 1966 年に全国設置が完了する。ATS の仕組みは多様であり、公民鉄に際しては導入時に速度照査（チェック）機能の付加が義務づけられた。国鉄の ATS-S 形は、速度照査機能を持たず、乗務員のミスに起因する事故を完全には防止できなかった。車両のブレーキ性能の差異があり、一律な速度照査を導入できなかった国鉄は、距離情報を与えて車上で速度照査パターンを生成させる方式を開発し、ATS-P 形として具現化した。この、距離を情報とする概念は、今日のデジタル ATC（Automatic Train Control、自動列車制御）にも広く用いられている。これら、閉そくの管理に用いられる列車検知のための装置が、レールを電気回路の一部として用いた軌道回路である。

乗務員のバックアップシステムとして位置づけられた ATS に対し、ブレーキ扱いを自動化して機械で行うシステムが ATC として新幹線に本格導入され、安全性確保に寄与した。新幹線 ATC は地上から AF 帯の搬送波を AM 変調し、その変調周波数を速度信号としたものである。今日、様々な新幹線車両が開発され、また速度向上が進むなかで、速度信号に代わり、地上からは走行可能な軌道回路境界を電文として送信し、車上で速度照査パターンを生成するデジタル ATC が採用されつつある。

保安制御の処理を、地上から車上に移行するのは、車両性能を活かすことができるなどの利点もあり、システムとしての流れからは必然である。一方、車上での制御に不可欠となる軌道

回路境界情報に代わり前方列車位置情報を用いるなら、地上の軌道回は不要になり、固定的な閉そくから脱却できる。列車位置情報は、個々の列車が定周期で地上に送信するなどの方法で得られる。

鉄道総合技術研究所はこの概念を 1990 年代初頭に次世代列車制御システム CARAT (Computer and Radio Aided Train Control System) としてまとめ、上越新幹線での総合試験にも成功した。引き続き、JR 東日本は、在来線対象の実用システム ATACS (Advanced Train Administration and Control System) を開発し、仙石線で 2011 年 10 月に実稼働を開始した。

(2) 駅構内の走行路の確保 (連動装置)

網状に線路がつながる駅構内を運転させるには、その進路と競合する別の列車進路が取られていてはならない。また、転てつ器も所定の方向に転換していなければならないし、進路上に他の車両がないことの確認が必要になる。また、乗務員が進行信号機を見て列車が進路内を走行中に、転てつ器が転換しては危険なので、通過し終わるまで転換しないようにすることが必要である。このことを鎖錠と呼んでいる。このように、様々なチェックを行って進路を構成する装置を連動装置と呼ぶ。

連動装置は、転てつ器の転換や信号機の制御を梃子 (てこ) と呼ぶレバーを倒して手で動かしていた機械式連動装置からはじまり、色灯信号機、電気転てつ機を前提に、駅構内を 1 箇所ですべて制御する継電連動装置が出現し、大量導入される。継電連動装置は、列車在線情報や転てつ機の転換方向をリレー接点で入力し、シーケンス回路で安全のための様々な連動論理を実現し、現場機器を制御するものである。このシーケンス回路をソフトウェアに置き換えたものが電子連動装置で、今日の主流となっている。

(3) 海外の動き

鉄道システムは、社会インフラであり、その面的広がり列車制御システムにも大きな影響を与えている。欧州は、欧州統合のなかで、それまで国ごとに発達してきた列車制御システムの統一化に動き、ETCS/ERTMS (European Train Control System/ European Rail Traffic Management System) という共通仕様を制定した。ETCS は国際鉄道連合 UIC により 1991 年から検討されたシステムで、欧州のすべての線区を対象としている。一方、ERTMS は欧州幹線鉄道網を対象に ETCS の仕様のもとに策定されている。ETCS/ERTMS は、地上信号機と軌道回路をベースに ATS の機能を規定したレベル 1、軌道回路と車内信号によるレベル 2、そして、ATACS や CARAT と同様に車上での位置検知と無線による列車制御を行うレベル 3 に分類される。このレベル 3 の ETCS はこれからの列車制御システムの有力な事例の一つである。中国も、中国版 ETCS を CTCS として仕様化している。レベル 3 において欧州や中国がよりどころとする無線方式は GSM-R と呼ばれる第三世代の携帯電話用無線方式に準拠したものであり、地上のトランスポンダとしてはユーロバリスを使用している。

2-1-2 船 舶

2-1-3 道路交通：生活道路における安全性向上に向けて

(執筆：佐野紘平) [2009 年 10 月 受領]

平成 21 年年頭に麻生総理が、2008 年における 24 時間交通事故死者数 5155 人を今後 10 年間で 2500 人とする決意表明を行っている。急激な高齢化が進行している日本では、高齢歩行

者、自転車乗用中の事故が激増し、高齢運転者による事故も急増している。生活道路における対策（＝高齢者対策）を充実しないと、死亡者半減の実現は不可能である。

道路交通システムは、人、道路、車両が織りなす超複雑システムであるが、人の認知・危険回避能力と身体強度の低下が確実に進行している。表 1・3・1 に年齢別事故率と、平成 2 年に 58 歳であったドライバーの 8 年間ににおける事故率の変化を、図 1・3・1 に 30 日以内死者数構成率の欧米諸国との比較を示す。

表 1・3・1 加齢による事故率の変化¹⁾

年 齢	事故率 (%) / 年	年齢 58～65 歳	事故率 (%) / 年
25 歳未満	1.51	58 歳	0.94
25～29 歳	0.86	59 歳	0.99
30 歳代	0.80	60 歳	1.14
40 歳代	0.76	61 歳	1.18
50 歳台	0.88	62 歳	1.22
60～64 歳	1.21	63 歳	1.20
65～74 歳	1.74	64 歳	1.37
75 歳以上	3.60	65 歳	1.44

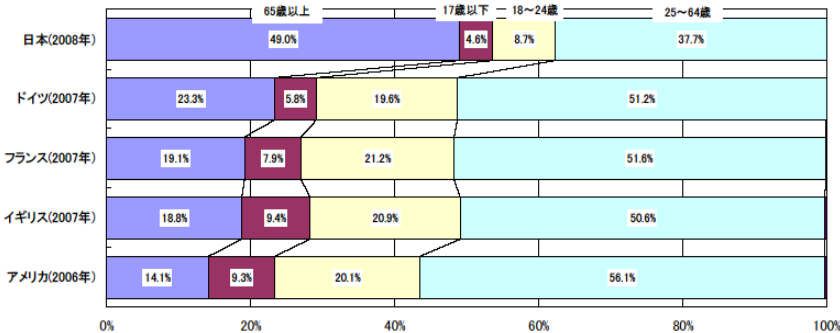


図 1・3・1 年齢層別 30 日以内死者数の欧米諸国との比較（文献 9）を引用）

高齢者の道路交通における危険度の高さを示す主たるデータとしては以下がある。

- 1) 自動車が危険認知速度 10 km/h 以下で起こす歩行者死亡事故件数における高齢者の構成率は、75 歳以上 (55 人(女性)+14 人(男性))＝69/131 (52.7%)，65 歳以上合計件数＝99 件＝99/131＝75.6 %である²⁾。
- 2) 平成 17 年を 100 とした、平成 37 年における高齢運転者事故は、80 歳以上：6.5～9.0 倍、75～79 歳：4.0～4.5 倍、70～74 歳：2.0～2.8 倍に達すると推定されている³⁾。
- 3) 65 歳以上の免許保有者の 7～8 %が認知症に罹病し、440 万人のアルコール依存症と多量飲酒者の高齢化が進行している⁴⁾。

高齢化対策として、現在事業用車両を対象に開発・試験が行われているドライブレコーダの

事故予防システムへの進化が期待される。すなわち、高齢者の運転・危険回避能力劣化の実態を明確にすることと、自動車免許を持たない高齢者（特に女性）と子供（15 歳以下）の歩行者、自転車乗用者を徹底的に保護する通信システムの開発・普及が期待される。すなわち、「保護すべき歩行者・自転車乗用者に気付かなかった」と運転者に言わせないシステムである。更に、リスクホメオスタシス理論を打破する（運転者が恣意的にリスク水準を設定することを抑制する）免許証の IC カード化に対応させた、生活道路における制限時速 20 km/h 厳守システムの開発・普及により、高齢者安全運転寿命の延長を図る必要がある^{5)~8)}。

■参考資料

- 1) 植島大輔，他：“北海道の交通事故の実態，” http://ghe.med.hokudai.ac.jp/Others/new_page_kotujiko1.htm
- 2) “低速域歩行者死亡事故の特徴，” イタルダ・インフォメーション，no.79，2009.5.
- 3) 村田隆裕：“高齢者の交通事故発生予測に関する研究，” 自動車交通研究，2007.
- 4) 上村直人：“認知症患者の自動車運転をどのように考えるべきか，” CLINICIAN，no.548，2006.
- 5) ジェラルド・J・S・ワイルド，芳賀 繁（訳）：“交通事故はなぜなくなるらないか，” 新曜社，2007.
- 6) 堀野定雄：“研究所構想とドラレコに期待する予防安全，” 神奈川大学工学部 KU-WIRF 設立記念ドライブレコーダ・シンポジウム 基調講演資料，2009.7.
- 7) 森みどり：“テレフィード調査の活用，” KU-EIRF シンポジウム資料，2009.7.
- 8) 北村憲康：“安全運転寿命，” 企業開発センター交通問題研究室，星雲社，2009.
- 9) 警察庁交通局：“平成 20 年中の 30 日以内交通事故死者の状況，” 2009.3.

2-1-4 航 空

（執筆者：長岡 栄）[2009 年 10 月 受領]

(1) 航空輸送システム

航空輸送の特色は、高速、地球規模の移動、国際的などであろう。安全で効率的な航空機の運航には航行援助システムなど多くのサブシステムが欠かせない。航空輸送のシステムは複雑で大規模で、そのサブシステムには、地上だけでなく人工衛星などの宇宙のシステムも含まれる。システム内には多くの人間（パイロット、管制官、メンテナンス関係者など）、機械、地上インフラ、そして規則や基準などを含んでいる。民間機は国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization：ICAO）の国際標準・勧告方式に従って運航される。これは民間航空条約付属書（「航空従事者免許」から「危険物安全輸送」までの 18 種がある）で規定されている。我々が利用する旅客機は通常、計器飛行方式（Instrument Flight Rules：IFR）により飛行する。これは四六時中、航空管制官の指示に従って飛行するもので、視界不良時や夜間でも飛行が可能である。

航空機を所定の形態で運航するには、飛行制御、航行援助や航空管制などの仕組みが意図したとおり機能する必要がある。これがうまく機能しないと事故や脅威を感じる事象につながる。したがって、これらの設計・運用では高信頼性が求められる。

図 1・4・1 に安全のための考慮すべき要因の変化を示す。当初は技術的要因に着目し、耐空性など安全上重要な部分については要件が定められている。その後、航空輸送システム中の人的要因が注目され、近年では人間を取り巻く組織的要因も考慮した安全対策が求められている。最近では、安全は管理の対象で、システム工学^リや品質管理的手法が適用されつつある。

(2) 安全と管理

「安全」の定義はリスクに基づくものがよく用いられる。リスクがある設定した許容レベル

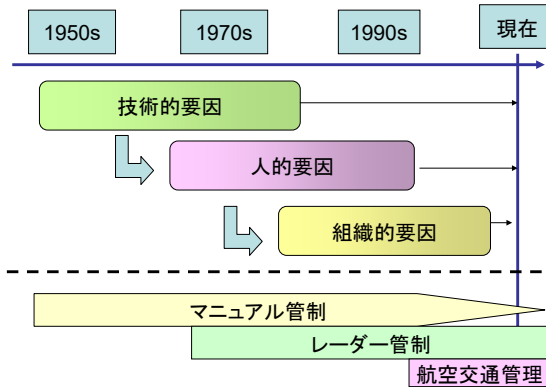


図 1・4・1 安全考察対象の進展（航空管制の方式も併記）

より低い状態を指す。これまで、安全確保のため航空機相互間に設定する最小間隔の基準や平行航空路の経路間隔などの安全性評価のために空中衝突リスクが用いられてきた^{2),3),5)}。これまでの安全性評価例の多くは、ある時期における特定の空域、航空路や環境のもとでの評価が主であった。

最近の ICAO の安全管理マニュアル⁸⁾では、「人への危害や資産の損害の可能性が、安全リスク管理とハザード同定の連続した過程を通じて、受容可能なレベルに軽減され、それ以下に維持されている状態」と定義されている。これにはハザード同定と安全リスク管理の過程を続けて、リスクを監視しつつ安全を担保する安全保証（Safety Assurance）の考え方が含まれている⁸⁾。

従来は、航空の安全対策は規則や要件の遵守⁴⁾に力が注がれてきた。しかし、こうした方法では事故率の軽減には対応が困難になっている。そこで、最近の安全管理^{7),8)}では事故調査を中心とした事後対処的ではなく、事前対処的な方法、予測的方法を取り入れている。ICAO では 2009 年から、航空交通サービス提供者や運航者などに対する安全管理体制（Safety Management System）の構築や国の安全プログラム（State Safety Program）の策定を義務づけている⁹⁾。安全管理体制は、安全目標を達成するための系統だった体制（包括的手法）で、安全プログラムは安全を改善するための規則と活動の総称のことである。

(3) 安全性評価の方法

最近の標準・勧告方式では安全に関わる部分の変更を加える場合には、安全性評価の後に実行することを義務付けている。このため、安全性評価の需要が高まっている。

従来の安全性評価の対象は、航空機、装置、特定の空域であったり、比較的、完結したシステムであった。最近では、こうした構成要素ではなく、運用方式、人や機械などを含めた総合システムとしての安全性が問われている。そこでは、安全性評価や管理の仕方とも従来とは異なってくる。そこでは、総合システムの安全性評価をどうするが課題となる。また、将来の航空交通管理システムのように計画段階にあるシステムの安全性評価手法も課題である。欧米では 2025 年頃を目標年とした航空交通管理システムの近代化計画が進められている。これに伴い、従来とは異なる新しい自動化システム、空域構成や運用方式の導入、管制の権限の分化などが

予想される。欧州の航空管制サービスを提供している EUROCONTROL では、システムの構成要素の開発者向けの安全性評価の手引書¹⁰⁾を作成し、Integrated Risk Picture (IRP) という総合システムの評価手法を提案している⁶⁾。

■参考文献

- 1) E. Lloyd and W. Tye : “Systematic Safety,” Civil Aviation Authority, England, 1992.
- 2) 長岡 栄 : “洋上航空路管制における安全性評価,” 日本信頼性学会(編): 信頼性ハンドブック, pp.970-975, 1997.
- 3) “Manual on Airspace Planning Methodology for the Determination of Separation Minima,” ICAO Doc 9699-AN/953, 1998.
- 4) 遠藤信介 : “航空機的设计・整備におけるリスク評価,” 安全工学, vol.41, No.6, pp.406-414, 2002.
- 5) 長岡 栄 : “航空システムの安全,” 電子情報通信学会誌, vol.88, no.5, pp.342-348, 2005.
- 6) J. Spouge and E. Perrin : “Main Report for the 2005/2012 Integrated Risk Picture for Air Traffic Management,” EEC Note No.05/06, EUROCONTROL, Apr. 2006.
- 7) 長岡 栄 : “航空における安全管理の概観,” 日本信頼性学会誌, vol.30, no.7, pp.571-577, 2008.
- 8) Safety Management Manual (SMM), ICAO Doc 9859 AN/474, 2nd Edition, 2009.
- 9) ICAO Safety Management Website の URL, <http://www.icao.int/anb/safetymanagement/>
- 10) EUROCONTROL Experimental Center Safety Handbook (ダウンロード可) ,
http://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/document/eec/other_document/2007/003_Safety_handbook.pdf

■S4 群-6 編-2 章

2-2 製品安全分野

2-2-1 家 電

(執筆者：中村和雄) [2009 年 10 月 受領]

(1) 家電の主な特性・特徴

- (1) 主に家庭内で使われる電気器具のため使用者は不特定多数で、年齢、性別、人種(国籍、使用言語)なども広範である。また、安全確保についての知識・経験・能力などは限定しにくく、また生産量が多い。
- (2) 安全に使用できる期間・安全性保証寿命に対する判断はその使用者・所有者にまかせられ、製品供給側の設計寿命より長期間使われことが多く、一定でない。
- (3) 安全性能の情報は製品カタログ、販売店情報などが主で多くない。
- (4) 安全対策にかけられるコストは主に製造者側の安全対応方針と販売価格で決まる。

(2) 製品安全上の考慮事項

家電製品の安全性は上記の特性・特徴を十分に考慮したものでなければならない。

- ・主な特性、特徴から要求される製品安全対応策を開発(主に設計)、製造・品質保証、販売後(点検、保守、廃棄処理)の各段階で必ず実施。
- ・使用者全員が安全確保についての十分な教育・訓練を受けているとは言えない。誤操作、パニック時への危険排除対応は「家電」、「業務用」ともに同じ内容が必要である。
- ・製品安全技術には、製造物の種類を問わず適用可能な基本的で共通なものと、対象製品にのみ適用される固有の安全技術がある。家電の安全性の確保には、共通な製品安全基本設計概念による安全構造・方式と固有な安全設計技術の採用が必要となる。

(3) 基本的で共通な製品安全設計技術の主なもの

製品安全設計技術の主なものとして次の基本設計概念に基づく構造、方式がある。

(1) フェイルセーフ (Fail Safe)

構成部品、材料、ユニット、本体、システムそれぞれの故障、品質不良、寿命(廃棄)時に安全が確保される構造、システム、部品、材料などの採用。人のミス、ソフトウェアのフェイル、自然環境への害、負荷増加もフェイルセーフ検討の対象になる。

(2) フールレジスタント (Fool Resistant)

使用者のうっかりミス、錯覚、危険の程度不明・無知識、訓練不足などによる危険行動に対する安全対策、安全人間工学・心理学などの研究成果の採用。

[例] 安全カバー取り付け、インターロック機能の装備、次の(3)、(4)、(5)の採用

(3) タンパーレジスタント (Tamper Resistant)、チャイルドレジスタント

イタズラ、故意より危険な部分・場所へのアクセス(接近、触れる)をしにくくする構造、容易に取り外せない構造、取り付け法。

[例] リベット、溶接、特殊ネジの採用、二重ナット、複数ネジの採用など

(4) ZMS (Zero Mechanical State, ゼロメカニカルステイツ)

危険原因がゼロ状態でのみアクセスが可能にする設計方式。

[例] 安全柵内への入り口とびらの鍵・構造に多重インターロックの採用、安全鍵方式

(5) FMLB (First Make Last Break, 安全機能の優先作動構造)

製品の使用開始時に安全装置, 安全確保機能がどの機能よりも最優先で有効になり, すべての危険状態・部分を排除してから, 最後に安全機能が停止する構造, 設計方式

(6) バックアップシステム (Backup System)

〔例〕同一機能の複数装備 (電気方式, 機械方式の併用, 原理の異なるものや同じ原理のものを多重に採用)

(7) 冗長 (Redundancy)

〔例〕動作範囲に遊び部分を設ける, ギアのかみ合い部分にバックラッシュを付ける

(8) 本質安全部品, 本質安全機構 (Inherent Safety) 構造, 方式

〔例〕危険性, 毒性などがそのものの自身に存在しない部品, 材料構造, 保護機能付部品の採用, 不燃材使用

(9) その他の基本安全技術, 概念 (Other PS Design Principles)

安全人間工学の研究成果, 今後開発される安全確保のためのテクノロジーの採用など

(4) 主な共通技術基準, 団体の Web Site

- ・ ISO 12100 機械安全, …
- ・ IEC 61508 (JIS C 0508) 電気・電子・プログラマブル電子安全
- ・ ISO 公式 Web Site <http://www.iso.org/iso/home.htm>
- ・ IEC 公式 Web Site <http://www.iec.ch/index.html>
- ・ 家電製品協会 <http://www.aecha.or.jp/>
- ・ 国内製品事故情報開示 Site (NITE 公開情報) <http://www.nite.go.jp/>

■参考文献

- 1) 日本科学技術連盟 PL 編集委員会: “製造物責任と製品安全,” 第 2 巻, pp.66-74, 1992.
- 2) 中村和雄: “製品安全の大原則,” 電子情報通信学会講演会報告, no.91-1, 1991.8.23.
- 3) 中村和雄: “消費者トラブルを防ぐプロダクトセイフティ,” 工業調査会, 1992.
- 4) 鈴木喜久, 佐藤吉信, 他著: “エレクトロニクス機器を中心とした安全の科学—トラブル対策実用事例集,” リアライズ社, 1994.

2-2-2 情報機器

■S4 群-6 編-2 章

2-3 産業安全分野

■S4 群-6 編-2 章

2-4 原子力分野

■S4 群-6 編-2 章

2-5 医療分野

(執筆者：木村昌臣) [2009 年 10 月 受領]

2-5-1 医薬品

医薬品に係る安全性は大きく 2 つに分類される。一つは、医薬品の化学的性質に基づく安全性である「物の安全性」であり、もう一つは正しい医薬品を正しく使用することにより確保される「使用の安全性」である¹⁾。前者はいわゆる副作用による有害事象の発生防止などを指し独立行政法人 医薬品医療機器総合機構にて安全性情報が公開されている²⁾。後者で防止されるべき医療事故は類似医薬品による取り違え、投与量の誤り、投与対象の取り違え及びその他ヒューマンエラーなどに起因する医薬品の誤用などがある。いずれにしても、医薬品の安全性については、医療情報学や人間工学をはじめ医・薬・看護などの各分野で幅広く研究されており、枚挙に暇がない。本稿では、医薬品の安全性に関するデータを分析した研究に焦点を絞り紹介する。

「物の安全性」に関するデータ分析についての近年のホットなテーマに、副作用情報などをシグナルとして早期に発見するためのデータマイニング手法の適用についての試み³⁾がある。

「使用の安全性」に関しては、医薬品の使用の安全性に関する医療事故と密接な関係がある事例として何かの要因で最終的には医療事故には至らなかったが、そのような要因が発生しなければ医療事故になり得た事例である医薬品投薬ヒヤリ・ハット事例についての解析が挙げられる。これらの事例の要因の分類や因果関係についての解析事例は数多くあるが、データマイニング手法などを用い複数の項目の関係を考慮した解析についての研究として文献 4), 5), 6) が挙げられる。ヒヤリ・ハット事例（インシデント）は医薬品を誤って使用してしまった結果とも言えるが、正しい使用法は医薬品の添付文書に記載されているため、医薬品の使用の安全に資するデータベースを構築することを目指してその内容を抽出する試みもある^{7), 8)}。

また、特に医薬品の名称や外観が他剤と類似していることが医薬品の取り違え事例の大きな要因の一つであることが挙げられるため⁹⁾、医薬品の名称^{9)~11)}や外観^{12)~14)}の類似指標を提案し、類似医薬品を指摘するシステムを構築する試みも行われている。

■参考文献

- 1) 土屋文人：“医薬品関連ヒヤリ・ハット事例と対策,” 日本病院会雑誌, vol.50, no.10, pp.1488-1504, 2003.
- 2) 独立行政法人 医薬品医療機器総合機構：“医薬品・医療機器等安全性情報,” http://www.info.pmda.go.jp/iyaku_anzen/anzen_index.html (2009 現在)
- 3) 独立行政法人 医薬品医療機器総合機構：“データマイニング手法の導入に関する検討結果報告書,” http://www.info.pmda.go.jp/kyoten_iyaku/file/dm-report20.pdf (2009 現在)
- 4) G. Hripsak, S. Bakken, D.P. Stetson, L.V. Patel：“Mining complex clinical data for patient safety research: a framework for event discovery,” Journal of Biomedical Informatics, vol.36, pp.120-130, 2003.
- 5) M. Kimura, K. Tatsuno, T. Hayasaka, Y. Takahashi, T. Aoto, M. Ohkura, F. Tsuchiya：“The Analysis of Near-Miss Cases Using Data-Mining Approach,” Data Mining and Knowledge Discovery in Real Life Applications, pp.474-483, 2007.
- 6) 津本周作, 平野章二：“複合工医学としてのデータマイニング,” 人工知能学会誌, vol.22, no.2, pp.201-207, 2007.
- 7) 鍋田啓太, 木村昌臣, 大倉典子, 土屋文人：“医薬品添付文書情報からの有効成分名の抽出,” 電子情報通

信学会ソサエティ大会講演論文集, pp.169, 2008.

- 8) 鍋田啓太, 木村昌臣, 大倉典子, 土屋文人: “医薬品添付文書情報からの有効成分名の抽出 (第2報),” 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp.324, 2009.
- 9) 医薬品類似名称検索システム, <https://www.ruijimeisho.jp/> (2009 現在)
- 10) 土屋文人, 河村 昇, 王 智瑛, 原 明宏: “医薬品名の標準化と類似性の検討,” 医療情報学, vol.21, no.1, pp.59-67, 2001.
- 11) 木村昌臣, 立野孝治, 大倉典子, 土屋文人: “医薬品名称類似度指標の検討,” 電子情報通信学会技術研究報告 安全性, vol.106, no.431, pp.1-4, 2006.
- 12) 大槻宜孝, 泉谷 聡, 大倉典子, 土屋文人: “PTP シートの外観類似に関するアンケートの解析,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol.109, no.29, pp.9-12, 2009.
- 13) 古城 晃, 木村昌臣, 鍋田啓太, 大倉典子, 土屋文人: “アンプルを対象とした外観類似医薬品検索手法の提案,” 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp.326, 2009.
- 14) 三林洋介, 土屋文人, 竹ノ内敏孝, 村山純一郎: “医薬品調剤時における視線計測とヒューマンエラー,” 電子情報通信学会技術研究報告 安全性, vol.108, no.49, pp.9-12, 2008.

2-5-2 医療機器

医療機器の安全性に寄与する特性の一つとして、その電氣的・機械的構造の複雑性が挙げられる。医療機器の操作者である医療関係者は、その業務の特性上、余儀なく作業の中断・再開や緊急時の操作を強いられる機会が少なくない。そのため、医療機器自身の故障とそれによる影響による観点のみならず、操作者が操作時に誤りを犯しにくいという観点でも安全性について議論をする必要がある。その意味で、医療機器の使用の安全性に関わる事故・インシデントについては、使い方が悪いなどの理由で使用者にのみ責を追わせるだけでなく、ユーザビリティの改善による誤操作・誤入力の防止など工学的な立場から充分な工夫を行い、安全性の向上のための使用者の支援を行うことが求められる¹⁾²⁾。

医療機器のインシデントは、現在、日本医療機能評価機構にて収集され、医薬品医療機器総合機構で検討されているが、収集された事例についての分析例として集計に基づく解析³⁾⁴⁾やデータマイニング・テキストマイニングに基づく分析の試み¹⁾²⁾が挙げられる。また、迅速なフィードバックを行うことを狙いとして個別の病院がインシデント事例を収集しこれを解析した研究については、例えば文献 5) などがある。

■参考文献

- 1) 渡部 祥, 木村昌臣, 大倉典子, 土屋文人: “データマイニング手法による医療機器ヒヤリ・ハット事例解析,” 日本人間工学会関東支部大会講演集, vol.37, pp.119-120, 2007.
- 2) 渡部 祥, 木村昌臣, 大倉典子, 土屋文人: “テキストマイニング手法を用いた医療機器ヒヤリ・ハット事例の解析,” 電子情報通信学会総合大会講演論文集, A-18-3, 2008.
- 3) 石川 廣, 山口達也, 堤 治之, 浦富恵輔: “ヒヤリ・ハットの事例分析,” 日本医療機器学会, vol.74, no.4, p.200, 2004.
- 4) 浦富恵輔: “安全性情報管理キャンペーン (第3部 その8) 医療機器に関連した医療事故及びヒヤリ・ハットについて ((財)日本医療機能評価機構の医療事故情報収集等事業からの分析),” 医機連ニュース, vol.61, pp.48-52, 2008.
- 5) 大脇哲洋, 他: “インシデント報告におけるチューブトラブルの解析,” 医科器械学, vol.74, no.2, pp.82-86, 2004.

■S4 群-6 編-2 章

2-6 食品分野

■S4 群-6 編-2 章

2-7 防災・防犯分野

2-7-1 地 震

2-7-2 台 風

(執筆著：田村幸雄) [2009 年 12 月 受領]

台風は、ハリケーンやサイクロンと同じ熱帯性低気圧であり、北半球では左回転の渦巻きを形成する。中心付近の最大風速が 17 m/s 以上になったものを台風といい、その大きさは風速 15 m/s 以上の強風域の半径で定義され、50 km 程度から 1000 km を超える場合もあり、被害の及ぶ範囲は極めて広範囲である。世界の自然災害による経済的損失の大半は、台風などの強風とそれに伴う水災害に起因している。これらの災害による人的損失は、十万人単位で死者の発生するミャンマーやバングラデシュなど発展途上国に偏っている。

我が国では、気象衛星による観測や数値予測の精度が向上し、台風の進路は、高い精度で予測することが可能となり、テレビやインターネットなどの情報伝達手段も格段と進歩・普及した。また、経済成長に伴う社会基盤の整備もあって、台風による人的被害は 1960 年以降、大幅に軽減された。しかし、一方で、都市や建築物群の財産的価値や収容物の富は、近年極めて増大しており、強風などの自然災害による経済的損失は、むしろ増加傾向にある。1991 年の台風 19 号での損害保険支払額は 5679 億円に達し、一つの自然災害で支払われた損害保険金額の史上最高を記録した。2004 年も台風 18 号では 3823 億円が支払われ、計 10 個の上陸台風などによる総支払額は 7033 億円にも達している¹⁾。最近の自然災害による経済的損失の第 1 位は米国、第 2 位は日本であり、人的損失の地域分布とは大きく異なっている。

台風は予報可能なため、地震と違って心理的インパクトや恐怖感がなく、それがかえって経済的損失を過小評価し、風災害の重大性を軽視する結果となっている。また、台風は多くの場合、強い雨や高潮などを伴い、水災害、土砂災害などが複合して発生する。構造物や人命の保護のための安全対策、あるいは避難対策などを考える場合、これらの事象の複合災害であるとする観点も極めて重要である。なお、台風時に生じる風被害の幾つかは、これに伴って発生した竜巻などの突風によっている。日本の竜巻の 30 %程度が台風に伴って発生し、上陸台風の 40 %が竜巻を伴っている²⁾。特に、台風の進行方向右前方の領域で多く発生し³⁾、中心から数百 km 程度離れているようなところでも、強風に対する備えが必要なのである。ちなみに、我が国で発生し得る竜巻は瞬間風速 71 m/s～92 m/s に相当するフジタスケール F3 までであると言われている。

ところで、台風でどの程度の強風が吹き、どのような被害が生じるのであろうか。日本の平地で公式に記録された最大風速は室戸岬の 69.8 m/s (台風 23 号, 1965 年) であり、最大瞬間風速は宮古島の 85.3 m/s (第 2 宮古島台風, 1966 年) である。2003 年の台風 14 号 Maemi では、宮古島の実験施設で瞬間風速 90 m/s を超える風速が観測されており⁴⁾、台風時でも F3 クラスの竜巻と同程度の強風になり得るのである。

瞬間風速が 30 m/s を超えると、看板やトタン屋根などの飛散が始まり、高層建築物の揺れに対する振動の知覚や、歩行者の転倒が起きる。40 m/s を超えると、屋根瓦などの飛散、飛散物

によるガラス窓の破損、鋼製シャッターなどの破損、老朽化した木造建物の被害が始まる。瞬間風速 50 m/s を超えるような状況では、コンクリートブロック塀の倒壊、墓石の転倒が起き、60 m/s を超える状況では、高層建築物のガラス窓の風圧による破壊、木造住宅の全壊が起きる⁵⁾。このような強風下では、屋外は屋根瓦、鉄板、角材、石礫など夥しい飛散物が飛び交う凄まじい状況となる（図 7・2・1）。

建築基準法施行令 87 条及び平成 12 年建設省告示第 1454 号では、50 年に一度程度の強風に対して、建築物の構造骨組が短期許容応力度以内に納まり、外装材などが脱落しないことが要求されている。50 年に一度程度の強風は、大半の地域でほぼ台風が対象となり、来襲頻度や強度、大規模地形の影響などにより、地理的位置に応じて異なる値が定められている。つまり、建設地点が田園地帯のように開けた平坦地であれば、地上 10 m での 10 分間平均風速は 30 m/s（北海道中央付近や長野県など）～46 m/s（沖縄県など）と設定され、瞬間風速はそれぞれ 45 m/s～70 m/s 程度に相当する。高さ 60 m を超える高層建築物などでは、更に、ほぼ 500 年に一度程度の強風（風速は 50 年に一度の強風の 1.25 倍、荷重は約 1.6 倍）に対しても、建築物が倒壊しないことを検討しなければならない。

風被害は外装材の局部的破損に端を発することが多い。窓や軒先などの軽微な被害によって、室内あるいは屋根裏の圧力が上昇し、屋根全体を飛散させる大被害に発展することもある。「被害の相関」である。また、瓦屋根や金属屋根、あるいは壁面などが破損した場合、それらの一部が飛散物となって風下側の建築物や人に衝突し、2 次被害を誘発する。「被害の連鎖」である（図 7・2・1）。飛散物に対しては、雨戸やシャッターが有効である。人的被害は、飛散物による衝撃や、一時的に風がやんだ場合に屋根の修理に上がって転落したり、船の舳を確認に行き波にさらわれるなどで発生することが多い。強風安全のためには、ハード面の整備は勿論であるが、住民や行政の意識改革や、正しい知識の啓発活動や教育が欠かせない。

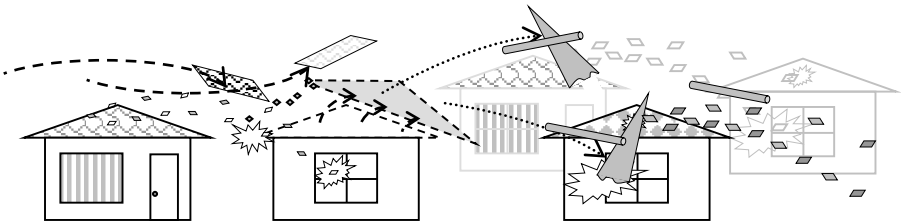


図 7・2・1 風被害の特徴：軒先や窓などの軽微な破損が屋根全体被害などにつながる「被害の相関」及び飛散物による「被害の連鎖」

■参考文献

- 1) 召田幸大：“2004 年の強風被害とその教訓—強風被害が残したもの—”，2.1.3 強風被害の保険金支払い状況，日本建築学会，pp.18-23，2006。
- 2) 光田 章（編著），文字信貴：“日本の竜巻 気象のはなし I”，技報堂出版，pp.141-146，1988。
- 3) 新野 宏：“竜巻を生み出す環境場及び竜巻の発生機構の研究”，研究計画の概要，竜巻等の実態および発生予測と対策，平成 19 年度科学技術振興調整費補助金 重要政策課題への機動的対応の推進成果報告書，pp.1-5，2008。
- 4) S. Cao, Y. Tamura, N. Kikuchi, M. Saito, I. Nakayama, and Y. Matsuzaki：，“Wind characteristics of a strong typhoon,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.97, pp.11-21, 2009。
- 5) 田村幸雄：“風を知る”，建築技術，vol.605, pp.108-113, 2000。

2-7-3 警戒システム

（執筆者：中村英夫）[2011 年 11 月 受領]

突風や豪雨など気象変動はこれまでの値を大きく超えるものがあり，これらに対する警戒システムの構築は，市民生活の安全確保からも重要な事柄である．我が国では，河川や港湾などの管理は国土交通省や自治体によって行われ，特に，国土交通省が全国に整備している観測・警戒システム網は，市民の安全確保に大きく貢献している．

2-7-4 津 波

2-7-5 雷

■S4 群－6 編－2 章

2-8 環境分野

2-8-1 地球温暖化

(執筆者：藤井石根) [2009 年 10 月 受領]

(1) 温暖化の原因

「大気、海洋そして土壌とともに地球生命圏は一つの複合体を形成し安定した状態を保っている」。これが 1984 年に英国の化学者 J. E. ラブロックによって発表されたカイアの仮説と呼ばれているものである。この説からも察せられるように地球環境は生物も含む物質循環と深く関わっている。それ故に今、直面している地球温暖化問題も人も含む生命体に視点を置いて考えることが肝要と言われている。

さて、地球温暖化の原因には 2 つの説がある。その一つは本来、地球はそれ自体、歳差運動、地軸傾斜の変動、それに離心率の変化など固有の動きをしており、これが関係して約 10 万年を周期に氷期と間氷期を繰り返す。このところの温暖化もその変化の一環であるとの見方である。その証拠に南極で掘削した 74 万年前まで遡る氷柱の分析結果を示し「74 万年の間に氷期、間氷期の繰り返しが 8 回見られた」と主張されている。他方、現在の気温上昇は、このような地球自身による過去の気温上昇に比べてもはるかに速い速度で進んでいることを理由に、別の原因があるとしてそれは近代の急速な化石燃料の大量消費であるとしている説である。「気候変動に関する政府間パネル（略称：IPCC）」も後者の説を採用している。温暖化をもたらしている物質としては表 8・1・1 にあるような幾つかの物質が取り沙汰されているが、何といっても化石燃料を燃やした際に発生する二酸化炭素がその量の多さから主犯と見られている。実際、大気中の二酸化炭素濃度の上昇は図 8・1・1 でも見られるように日本国内でも観測されている。

表 8・1・1 温室効果ガスの地球温暖化係数と寿命¹⁾

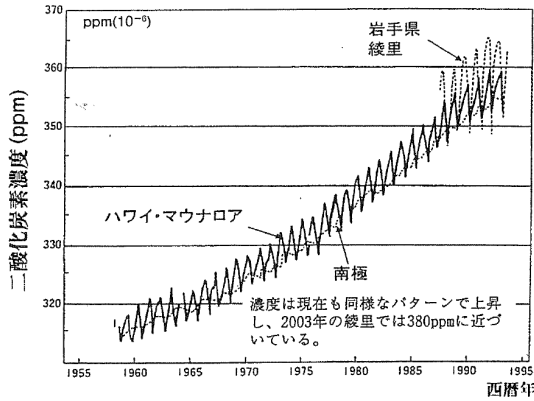
物質	化学式	大気中での 寿命 (年)	地球温暖化係数 (GWP)
二酸化炭素	CO ₂	50～200	1
メタン	CH ₄	12.2±3	39～72
一酸化二窒素	N ₂ O	120	280
HCFC-22	CF ₂ HCl	13.3	4,300
HCFC-123	C ₂ F ₃ HCl ₂	1.4	300
HFC-23	CHF ₃	264	9,100
HFC-32	CH ₂ F ₂	5.6	2,100
六フッ化硫黄	SF ₆	3,200	16,300
パーフルオロメタン	CF ₄	50,000	4,400
パーフルオロエタン	C ₂ F ₆	10,000	6,200

IPCC 1995

地球温暖化係数 (Global Warming Potential,GWP) は
温室効果ガスの温室効果を比較する指標で、CO₂を1とした相対値

(2) 温暖化の影響

もしこのままの状態では温暖化が進むと、異常気候が頻発し、洪水が多発する一方で、水不足

図 8・1・1 大気中二酸化炭素濃度の経年推移¹⁾

に見舞われるなど農産物の生産に大きな影響が出て、飢餓の問題がより深刻化するとされる。図 8・1・2 には地球の平均気温上昇の度合いに応じた影響のほどが示されており、多岐にわたっている。海水温の上昇は台風を強力化させ、以前には殆どなかった竜巻も発生するようになる。また、海洋は大気中の二酸化炭素の大きな吸収源になっているが、海水の温度や塩分の濃度が高くなればなるほど吸収量が小さくなる。メカニズムとしては、温暖化の加速に加担する不都合な実体も存在している。サンゴ礁の白化も同様の意味を有している。

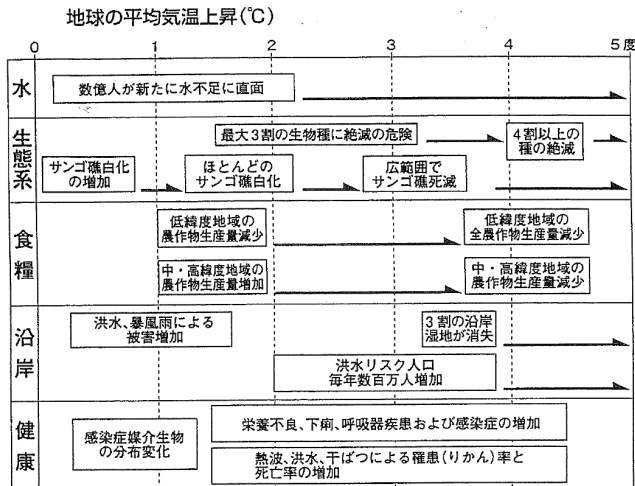


図 8・1・2 IPCC が予想する温度レベルの温暖化の影響 (出典：朝日新聞記事)

(3) 地球温度の指標、地球表面温度

地球の気温は太陽からの放射エネルギー R_s と地球自身から宇宙へ放出する放射エネルギー R_g との平衡で決定される。

ところで、地球表面への平均的な太陽放射は 343 W/m^2 であるが、その 30 % は宇宙に反射されてしまうので R_s の具体的な値は 240 W/m^2 となる。他方 R_g は T を地球表面温度、 σ をステファン・ボルツマン定数 ($= 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)、 ε を放射率とすれば $R_g = \varepsilon \sigma T^4$ となり、 R_s と R_g は平衡という条件で

$$\varepsilon \sigma T^4 = 240 \text{ W/m}^2 \quad (8 \cdot 1 \cdot 1)$$

なる関係式が成り立つ。そこで、温室効果がないとして $\varepsilon = 1$ と置き T について計算すると $T \approx 255 \text{ K} = -18^\circ\text{C}$ となる。しかし、地球の周囲には水蒸気やオゾンなどの温室効果ガスが存在するため式 (8・1・1) の ε は実際には約 0.6 位で、この値で再度 T の値を計算すれば $T \approx 290 \text{ K} = 17^\circ\text{C}$ となる。もし温室効果ガスの二酸化炭素が増えて ε の値が更に小さくなれば T の値は更に大きく、すなわち地球の気温は更に上昇する。

(4) 森林の二酸化炭素吸収量

森林の植物体生産による二酸化炭素吸収量は光合成の反応式



で 6CO_2 の分子量の値 264 ($= 6 \times 44$) に対しブドウ糖の重縮合である多糖類(植物体の主成分、 $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) の分子量値は 162 ($= 12 \times 6 + 10 + 16 \times 5$) であるので植物体 1 グラムに対して 1.63 グラムとなる。無論のこと植物体の生産量は樹種や生育環境によって異なるものの、年間 1 ヘクタール当たり 4 トン、二酸化炭素吸収量としては約 6.5 トン強となる。この事実から、地上の森林の中で特に熱帯雨林の吸収量は膨大であるが、現在は伐採が進み、吸収されるはずの二酸化炭素が逆に発生源に変わって地球温暖化の大きな原因の一つになっている。

■参考文献

- 1) 才木義夫：“地球環境を守るために,” pp.167～168, 神奈川新聞社, 2006.

2-8-2 環境ホルモン

(執筆者：上野郁子) [2010 年 3 月 受領]

(1) 名 称

内分泌攪乱化学物質, または内分泌攪乱物質 (Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs) または Endocrine Disruptors). 現在, “環境ホルモン” の通称が広く使われているが, 公式には使用しない場合もある。

(2) 定 義

1997 年の米国スミソニアンワークショップでは「生物の恒常性, 生殖, 発生, もしくは行動を司っている生体内の天然ホルモンの合成, 分泌, 輸送, 結合, 作用あるいは除去に干渉する外因性物質」と定義している。また, 1998 年の環境庁の環境ホルモン戦略計画 SPEED'98¹⁾ では「動物の生体内に取り込まれた場合に, 本来, その生体内で営まれている正常なホルモン作用に影響を与える外因性の物質」と定義している。

(3) 歴史的背景と経緯

・有機塩素化合物の合成・大量生産と生物に対する障害発生

1929～1976 年, 欧米, 日本で, 有機塩素化合物 (DDT, BHC, 2,4-D, 2,4,5-T などの農薬や,

PCB) が大量生産、使用された²⁾。ベトナム戦争で使われた枯葉剤にはダイオキシンが混入していた。1960年代以降、野生動物の繁殖異常、斃死の発生³⁾、体内からの DDT や PCB の検出³⁾、DDT にエストロゲン作用を証明した⁴⁾。1970 年ベトナムで流産、奇形児多発²⁾、合成女性ホルモン (DES) の服用は、胎児に生殖機能異常を発生⁵⁾、など合成化学物質の生殖毒性が注目されるようになる。1962 年、レイチェル・カーソン (Rachel Carson) 「Silent Spring (沈黙の春)」⁶⁾ を発刊。シーア・コルボーン (Theo Colborn) らが 1991 年、ウイングスブレッド宣言「環境中の化学物質の中には女性ホルモン様作用を示す内分泌攪乱物質がある。野生生物に対する影響の調査研究が必要」³⁾ を発表し、1996 年「Our stolen future (奪われし未来)」³⁾ を刊行した。以後、エストロゲン様作用を持つ合成化学物質が環境汚染問題の中心的課題となる。

・1996 年各国の公的機関が対応開始

1998 年 5 月 環境庁が「内分泌攪乱化学物質問題への環境庁の対応方針について」と題した「環境ホルモン戦略計画 SPEED'98」¹⁾ のなかで、内分泌攪乱作用の疑われる 67 種類の化学物質の調査・研究を開始、結果を公表^{4),7)}。

2002 年 WHO/IPCS が、これまでに野生動物で観察された悪影響と暴露が疑われる化学物質との関連性を大筋でみとめるグローバルアセスメントを発表した。

2009 年 6 月 アメリカ内分泌学会 (U. S. A. The Endocrine Society) が、初めて、公式に、内分泌攪乱物質についての声明を Endocrine Reviews に発表⁸⁾。

(4) 内分泌攪乱物質の作用機構

脊椎動物には、個体の恒常性、生殖、成長など生命に関与する機能維持のための神経系、内分泌系、免疫系からなる情報網がある⁹⁾。エストロゲン、アンドロゲン、甲状腺ホルモン、などのホルモンは、この情報網の中で内分泌系の情報伝達シグナルとして、卵巣、精巣、甲状腺で産生・分泌され⁹⁾、子宮などの標的器官の細胞核内のホルモン受容体に結合することによって情報を細胞の遺伝子に伝える。内分泌攪乱物質はこのホルモン受容体に親和性を示し、本来のホルモンと受容体との正常な結合に質的・量的な異常をもたらす⁹⁾。

子宮内胎児、出生前後の乳児は母体からのエストロゲンの濃度 (50~250 pg/mL 付近) の微細な変動によって組織の細胞の分化・成長が調節されている。この時期に外来からエストロゲンあるいはエストロゲン様物質が付加されると胎児の成長の調節が乱され、出生後に形態的、機能的な異常が誘起される場合が知られる⁹⁾。

このようにして内分泌攪乱物質は、ホルモン受容体に作用して、個体全体の機能調節に異常を引き起こす。

■参考文献

- 1) 環境庁：「内分泌攪乱化学問題への環境庁の対応方針について—環境ホルモン戦略計画 SPEED'98, 1998 年 5 月, 2000 年 11 月版。
- 2) 綿貫, 河村, 白鳥：「ダイオキシン汚染のすべて,」河村 宏「ダイオキシン関連年表」, 「技術と人間」社, pp.189-190, 1984.
- 3) Theo Colborn : “Our stolen future,” 1996. (井口泰泉(解説), 長尾 力, 堀千恵子(訳) : “奪われし未来 (増補改訂版), ” 翔泳社, 2009.
- 4) 東京都立衛生研究所毒性部 : “内分泌かく乱作用が疑われる化学物質の生体影響 データ集,” 1999.
- 5) A.L. Herbst and H.A. Bern (eds.) : “Developmental effects of diethylstilbestrol (DES) in pregnancy,” Thieme Stratton, New York, 1981.
- 6) Rachel Carson : “Silent spring,” Houghton Mifflin co. Boston, 1962. (青樹梁一(訳) : “沈黙の春,” 新潮社,

2001.

- 7) 東京都立衛生研究所生活科学部乳肉衛生研究科：“内分泌攪乱化学物質（67 物質）データ集（環境ホルモン）,” 1998.
- 8) Evanthia Diamanti-Kandarakis et al. : “Endocrine-disrupting chemicals: An Endocrine Society Scientific Statement,” Endocrine Reviews, 30:293-342, 2009.
9. 松村譲児, 多久和陽：“内分泌,” pp.524-543, 坂井建雄, 河原克雄(総編集)：“カラー図解 人体の正常構造と機能,” 全 10 巻縮刷版, 日本医事新報社, 2008.

2-8-3 農 薬

(執筆者：小林裕子) [2011 年 8 月 受領]

(1) 農薬の定義

「農薬取締法」において、「農薬」とは「農作物（樹木及び農林産物を含む）を害する菌，線虫，だに，昆虫，ねずみその他の動植物またはウイルス（病害虫と総称）の防除に用いられる殺菌剤，殺虫剤その他の薬剤及び農作物などの生理機能の増進または抑制に用いられる植物成長調整剤，発芽抑制剤その他の薬剤をいう」と定義されている。

(2) 農薬の分類^{1)~3)}

農薬は，使用目的・防除対象生物別，化学組成・構造，剤型・使用形態などによって分類できる．使用目的別に最近登録された異性体を持つ農薬の一部を表 8・3・1 にまとめた．

表 8・3・1 農薬の種類と構造特徴及び作用特性

分 類	農 薬	構造特徴および作用特性
I. 殺虫剤		
ピレスロイド系	アクリナトリン エスフェンバレレート	S 体，神経伝達阻害 フェンバレレートの光学異性体(S 体)，神経伝達阻害
ネオニコチノイド系	ジノテフラン	ラセミ体(RS 体)，神経伝達阻害
その他の合成殺虫剤	メタフルミゾン	セミカルバゾン骨格，幾何異性体(EZ 体)，神経伝達阻害
殺ダニ剤	シエノピラフェン	プロベンニトリル骨格，分解物が活性，幾何異性体(E 体)
殺線虫剤	イミシアホス	イミダゾリン環骨格をもつ有機リン化合物，RS 体
II. 殺菌剤		
酸アミド系	メタラキシル M	メタラキシルの R 体，菌タンパク質の生合成阻害
トリアゾール系	メトコナゾール	幾何異性体・光学異性体をもつ，ステロール生合成阻害
メラニン生合成阻害剤	カルプロバミド	4種類の異性体をもつ，ステロール生合成阻害
ストロビリン系	フェンアミドン	イミダゾリノン環，S 体，電子伝達系阻害
その他の合成殺菌剤	ベンチアバリカルブイソプロピル	ベンゾチアゾール骨格，分子内に S と R 配置含，酵素阻害
III. 除草剤		
フェノキシ酸系	メコプロップ P フルアジホップ P	MCPP（メコプロップ）の R 体，ホルモン作用の攪乱 フルアジホップの R 体，脂質生合成阻害
酸アミド系	ジメテナミド	チオフェン環，RS 体，タンパク質生合成阻害
トリアジン系	トリアジフラム	トリアジン系，RS 体，セルロース生合成阻害
芳香族カルボン酸系	イマザキン	イミダゾリン骨格，RS 体，タンパク質生合成阻害
その他の合成除草剤	テブラロキシジム カルフェントラゾンエテル	シクロヘキサジジオン環，RS 体，脂質生合成阻害 アリルトリアゾリノン骨格，RS 体，酵素阻害
IV. 植物成長調整剤	ウニコナゾール P	トリアゾール骨格，S 体，ジベレリン生合成阻害，矮化剤

殺虫剤は有害昆虫の防除に用いられる．有機リン系，カーバメート系，ピレスロイド系，ネオニコチノイド系，及びマクロライド系などが使用されている．これらの薬剤はいずれも昆虫の神経系に作用する．ネオニコチノイド系は，ニコチンと同様な作用をし，化学構造もニコチン類似のため総称された．微生物により生産されるマクロライド系薬剤には，16 員環及び 12 員環を有する化合物がある．昆虫の正常な成長，発育を阻害する昆虫成長制御剤（IGR）には，

ベンゾイルフェニル尿素系とジアシルヒドラジン系化合物が多い。

殺菌剤は、植物の病原菌の防除に用いられ、ステロールの生合成阻害や呼吸阻害型のものが多い。使用時期の違いにより、予防剤と治療剤とに分けられる。酸アミド系のメタラキシル（ラセミ体）及びメタラキシル M（R 体）は予防効果と治療効果を併せ持っている。

除草剤は雑草の防除に用いられる薬剤である。植物に対する作用の選択性や使用目的により、選択性除草剤と非選択性除草剤に分けられる。最近の傾向としては、フェノキシ酸系のメコプロップ P 及びフルアジホップ P に見られるように、光学異性体を分離し除草活性を高めて投下農薬量を軽減している。この系統の剤は植物体あるいは土壤中で、遊離酸型の活性体に変化して効力を発揮する。カーバメート系には、基本構造中に硫黄原子のないカーバメート型と、硫黄原子を 1 個持つチオカーバメート型がある。

植物成長調整剤は農作物など有用植物の成長を促進または抑制する。この剤は、その性質上、植物ホルモン（ジベレリン、エチレン、オーキシシン、サイトカイニン、アブシジン酸、ブラシノステロイド）またはそれに拮抗するような化合物が多い。

その他、殺ソ剤、誘引剤、忌避剤、農薬の有効成分の働きを増強する補助剤などがある。

(3) 農薬の安全性

(a) 農薬の開発

高い安全性を目的として低毒性で易分解性、低薬量で有効、作物に害を与えない選択性の高い農薬の開発を推進している。例えば、異性体を含む農薬から活性本体のみを有効成分とすることにより農薬の使用量を軽減している。剤型に関しては、少量の農薬有効成分を均一に散布分散でき、作業従事者や環境の負荷を軽減するために、DL（ドリフトレス）粉剤やマイクロカプセル剤などが開発された。

(b) 農薬の登録制度

農作物の病害虫や雑草の防除などに使われる農薬は、人類が食糧を確保するためには、必要な農業資材である。そこで、農業生産の安定と国民の健康保護及び生活環境の保全を目的として、「農薬取締法」において、農薬の登録制度を設けている。登録の有効期限は 3 年で、3 年ごとに再登録の申請を行う必要がある。

(c) 農薬の安全性試験及び規制基準

農薬の登録に必要な毒性試験や残留性試験などの各種安全性試験⁴⁾は、農薬 GLP（優良試験所規範）認定機関で行われ、毒性試験の結果から ADI（一日摂取許容量）が決定される（食品安全委員会）。農薬に関係する主な法律は、農薬取締法、食品衛生法、食品安全基本法である。農薬取締法で農薬使用基準（農林水産省）、食品衛生法で残留農薬基準（厚生労働省）、環境省告示で農薬登録保留基準（環境省）が設定される。その他、ヒトが直接・間接的に受ける要因ごとに水質基準や大気基準などが設定されており、その遵守を義務づけている。このように農薬は各種法律・基準などによってリスク管理されている。

(d) 残留農薬分析

農薬処理後の農作物、畜産物、環境試料中の農薬の残留濃度を把握するために残留分析が必要である。分析対象成分には農薬の有効成分に加え、毒性がある、あるいは活性本体であるなどの代謝物も規制対象になる。分析対象成分及び分析法については成書 5)～7) を参考にされたい。また、2006 年の残留農薬に係わるポジティブリスト制度の施行に伴い、従来の分析法に加えて、同時に多数の農薬を定量できる多成分分析法が実施されている。

(e) 農薬使用の傾向

害虫防除に関し、様々な防除手段を組み合わせ、生態系と調和を図り、害虫による経済的損害を許容水準以下にするという総合防除を考慮し、環境保全型農業が推進されている。

■参考文献

- 1) C.D.S. Tomlin (Ed.) : “The Pesticide Manual (15h Ed.) ,” British Crop Protection Council, 2009.
- 2) 山下恭平, 水谷純谷, 藤田稔夫, 丸茂晋吾, 江藤守総, 高橋信孝 : “新版 農薬の科学,” 文永堂, 2003.
- 3) “農薬ハンドブック 2011 年版,” 日本植物防疫協会, 2011.
- 4) “農薬登録申請に係わる試験成績について,” 平成 12 年 11 月 24 日付 12 農産第 8147 号農林水産省農産園芸局長通知.
- 5) “食品に残留する農薬, 飼料添加物又は動物用医薬品の成分である物質の試験法,” 平成 17 年 1 月 24 日付 食安発第 0124001 号 厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知.
- 6) 上路雅子, 小林裕子, 中村幸二 : “2002 版 残留農薬分析法,” ソフトサイエンス社, 2003.
- 7) P.W. Lee (Ed.) : “Handbook of Residue Analytical Methods for Agrochemicals,” vol.1,2, Wiley, 2003.

2-8-4 バイオ

(執筆者：内田憲孝) [2011 年 9 月 受領]

バイオ (Bio) とはもともと「生物の」という意味であり本項の記述としては生物すべてに関わる事象について述べるべきかもしれないが、ここでは発酵などの旧来の生物機能の応用ではなく、生物学的知見に基づいて人工的に生物を改変する技術をバイオテクノロジーと定義して、様々な環境への安全・安心・安定に関わる事象として述べることにする。

バイオテクノロジーには、遺伝子組換え、タンパク質の改変、クローン作製などの技術があるが、最も基本となるのは遺伝子組換えである。遺伝子組換えは DNA を構成する塩基配列を直接操作することによってその配列を変更し、本来自然の生体が持たない新しい機能や形質を付与した生体、あるいは特定の機能を強化した生体、を創出する技術である。遺伝子組換え技術は新規生物を作るのみならず、新機能を持つタンパク質や化学物質を生み出すことができる。

遺伝子組換えは、遺伝子を生物に導入する操作技術、遺伝子の働きを制御する分子生物学的な知見、DNA 配列がコードしている遺伝子機能に関する情報、の 3 つが技術の基本となる。1973 年に最初に報告された遺伝子組換え技術では、菌に含まれるプラスミドと呼ばれる環状の DNA に対して、DNA の切り貼りの機能を持つ制限酵素を用いることにより外来の DNA を組み込んだ。この報告により原理的には所望の DNA を生物の中に組み込むことができることが示され、その後植物や動物などのあらゆる生物に目的とする遺伝子を組み込むことができるようになった。更に、分子生物学の進展により遺伝子の働きを制御する機構が明らかになり、遺伝子の働くタイミングや遺伝子産物の量を制御できるようになるとともに、DNA 配列がどのような機能分子をコードしているのかという情報が大量に蓄積されて、インターネットによってこれらの情報を用意に引き出すことが可能になった。遺伝子の組換え技術、制御技術、パーツとしての DNA 配列の情報、の整備が進み生物の改変は比較的容易に実行することができるようになった。

バイオテクノロジーは原子力などの他の技術と同様に環境や人類に対してプラスの側面とマイナスの側面を持つ。バイオテクノロジーは、創薬、有用物質生産、新規農作物、環境修復 (バイオレメディエーション)、環境モニタリング、バイオ燃料、などの分野で広く活用されはじめている。一方で、環境における安全・安心・安定への脅威としては、組換え体が環境に拡

散されて生態系へ影響を与えることである。組換え体が制御されない状態で環境に放出されると元に戻すことは困難になる場合が懸念される。

生態系への影響としては、例えば従来の野生種に比べて組換え体の成長が早いことで野生種が駆逐される、組換え体が産生する物質による干渉、組換え体が交配を続けることにより予期せぬ新種の誕生、などがある。1999年には遺伝子組換えトウモロコシの花粉を食べたチョウが死んだという論文が報告されて大きく話題になったが、実際に環境に大きな悪影響を与えた例はまだ知られていない。

遺伝子組換え技術が意とせざる影響を与えた例としては、副産物により健康へ悪影響を与えた事象が知られている。1988年には遺伝子組換え技術を用いて生産した L-トリプトファンという健康食品によって死者・病人が発生した。これは、遺伝子組換え技術で改造したバクテリアが目的とする遺伝子以外に組換え前には作らなかった有害物質が混入したことが原因であった。

更に、故意に環境や健康に悪影響を与える大きな脅威としてはバイオテロがある。バイオテロではバイオテクノロジーによって意図的に病原性の高い菌やウイルス、あるいは毒性物質を作り出して環境に拡散させて悪影響を与える。組換え体を用いたテロは未だ起きていないが 2001 年には米国において炭疽菌のテロにより死者が出ている。

バイオテクノロジーによって作り出された生物は、それが持つ潜在的な危険性の拡散を防ぐために各種の規則により制限を受けている。前述の遺伝子組換えの基礎技術が確立された当時、遺伝子組換え技術を開発したポールバーグらは遺伝子組換え技術の危険性を指摘して、科学者自らがガイドラインを作成するための会議を 1975 年に開催した。これはアシロマ会議と呼ばれ生物学的封じ込めの基本的な考えをまとめた。その後、各国ではこの会議に基づいて物理学的封じ込めなどのガイドラインの制定を行い、日本では 1979 年に組換え DNA 実験指針が取り決められた。その後、組換え DNA 実験指針は改訂が続けられたが、2004 年に廃止となり現在は「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」が施行されている。

バイオテクノロジーにより改変された生物が、生物の多様性の保全及び持続可能な利用に及ぼす可能性のある悪影響を防止するための措置の規定としてカルタヘナ議定書がある。カルタヘナ議定書では、生物の多様性の保全及び持続可能な利用に悪影響を及ぼす可能性のある改変生物の移送、取扱い、利用、特に国境を越えた移動について、その管理のための措置を講じることを目的としている。環境放出利用の改変生物の輸出入に際しては、事前の通告による同意の手続きが必要とされる。また、輸入に際してや国内での最初の放出に先立ってのリスクの評価や、特定されたリスクの管理を確実にするなどの手続きが求められる。更に、締約国は、改変生物の適切な取扱い方法などについて必要な措置を講じ、移送される改変生物には、議定書に規定された情報を含んだ文書を添付しなくてはならない、とされている。その他にも改変生物の適切な取り扱いについての取り決めが WHO (世界保健機関)、FAO (国連食糧農業機関)、国連環境計画で進められてきている。

ここ 20 年は多くの科学技術予算がバイオテクノロジー関連に費やされており、技術や知識の大きな発展があった。バイオテクノロジーは原子力などと異なり比較的容易に扱うことができる技術であり、安全安心な活用に向けてより注意深い規制を行っていく必要がある。