



JAEA-Data/Code
2012-021

ORION-WIN: 原子力施設からの放射性物質の 大気放出に起因する環境中濃度及び 線量を評価するための計算コード

ORION-WIN : A Computer Code to Estimate Environmental Concentration
and Radiation Dose Due to Airborne Discharge of Radioactive Materials
from Nuclear Facilities

竹安 正則 小沼 利光 住谷 秀一

Masanori TAKEYASU, Toshimitsu ONUMA and Shuichi SUMIYA

東海研究開発センター
核燃料サイクル工学研究所
放射線管理部

Radiation Protection Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Tokai Research and Development Center

September 2012

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Data/Code

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2012

**ORION-WIN: 原子力施設からの放射性物質の大気放出に起因する環境中濃度及び
線量を評価するための計算コード**

日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター
核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部
竹安 正則、小沼 利光^{※1}、住谷 秀一

(2012年8月3日 受理)

ORION-WIN は、複数の核燃料サイクル施設から平常運転に伴い大気中に放出される放射性物質の環境中における濃度及び一般公衆の線量を評価するために開発された汎用計算コードである。

ORION-WIN は、各種モデルをオプションとして有していることから、核燃料サイクル諸施設の安全評価に係るケーススタディ、あるいは放出実績に基づく線量評価等に適用することが可能である。

放射性物質の大気中における拡散は、ガウス型拡散式を基本として計算し、拡散過程における減少補正として、重力沈降、乾性沈着、降水洗浄及び放射性崩壊が考慮されている。また、沈着後の再浮遊及び環境中における崩壊連鎖に伴う壊変生成物についても考慮することができる。内部被ばく経路として吸入摂取及び経口摂取を、外部被ばく経路として浸漬線量及び地表面沈着からの外部被ばくを計算する。線量は、公衆個人の線量として与えられる。

ORION-WIN は FORTRAN-77 で書かれた ORION-II をベースに、Windows OS を有する PC 環境で動作可能にし、かつ入力パラメータ作成及び出力ファイル参照等を GUI 化したものである。

**ORION-WIN : A Computer Code to Estimate Environmental Concentration and Radiation Dose
Due to Airborne Discharge of Radioactive Materials from Nuclear Facilities**

Masanori TAKEYASU, Toshimitsu ONUMA^{※1} and Shuichi SUMIYA

Radiation Protection Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Tokai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 3, 2012)

A computer code, ORION-WIN, has been developed to estimate environmental concentration and radiation dose to public due to airborne discharge of radioactive materials from multiple sources of nuclear fuel cycle facilities.

The modified Gaussian plume model is applied to calculate atmospheric dispersion of the discharged radioactive material. The plume depletion processes such as gravitational settling, dry deposition, precipitation scavenging and radioactive decay are considered, and resuspension from the ground and the produce of progeny from the parent radionuclide are also considered. Inhalation and oral intake are considered as internal pathways, and submersion in the radioactive cloud and external exposure to contaminated ground surface are considered as external pathways, respectively. Radiation dose to an individual is calculated.

Because ORION-WIN has many options, it is applicable to the sensitivity study of safety assessment for the nuclear fuel cycle facilities and to dose assessment based on the amount of radioactive materials discharged from the stack.

The ORION-WIN is an updated version of ORION-II and runs on PC mounting Windows OS, and has a graphical user interface for inputting the parameters and referring output files.

Keywords: ORION-WIN, Environmental Concentration, Radiation Dose to Public, Airborne Discharge, Safety Assessment, Nuclear Fuel Cycle Facility

※1 Collaborating Engineer

目 次

1. はじめに	1
2. 計算方法	2
2.1 大気中濃度の計算	2
2.1.1 大気拡散式	2
2.1.2 拡散幅計算式	7
2.1.3 吹き上げ高さ計算式	13
2.2 食物中濃度の計算	15
2.2.1 沈着率計算式	15
2.2.2 食物中濃度計算式	16
2.3 線量の計算	19
2.3.1 内部被ばくに係る預託線量	19
2.3.2 外部被ばくに係る線量	22
3. ORION-WIN の GUI 画面の概要	24
3.1 ORION-WIN のファイルディレクトリの構造	24
3.2 ORION-WIN の実行	26
3.3 ORION-WIN の操作	26
3.3.1 入力データ作成モード	26
3.3.2 解析モード	27
3.3.3 出力ファイル参照モード	27
3.3.4 テーブル・ファイル編集モード	27
参考文献	29

Contents

1. Introduction	1
2. Calculation model	2
2.1 Atmospheric dispersion	2
2.1.1 Atmospheric dispersion formula	2
2.1.2 Dispersion parameters	7
2.1.3 Plume rise	13
2.2 Concentration in food	15
2.2.1 Deposition model	15
2.2.2 Concentration in food	16
2.3 Dose calculation	19
2.3.1 Committed dose due to internal exposure	19
2.3.2 Dose due to external exposure	22
3. Outline of GUI Windows of ORION-WIN	24
3.1 Structure of the directory of ORION-WIN	24
3.2 Execution of ORION-WIN	26
3.3 Operation of ORION-WIN	26
3.3.1 Data input mode	26
3.3.2 Analysis mode	27
3.3.3 Output file reference mode	27
3.3.4 Table file edit mode	27
REFERENCES	29

1. はじめに

原子力施設の安全審査においては、平常時の放射性物質の大気放出に起因する一般公衆の線量が法令に定める限度を超えないことはもとより、合理的に達成できる限り低いことを設計及び運転の基本方針並びに立地条件との関連において評価する必要がある。このため、施設の運転条件、核種放出量等の放出条件、気象等の自然条件及び人口分布や食物摂取量等の社会条件を考慮し、現実的な評価モデルを組み込んだ計算コードを整備することが必要である。

計算コード ORION-II¹⁾は、核燃料サイクル施設の平常運転に伴い大気中に放出される放射性物質の空气中濃度、地表面沈着濃度、食物中濃度及び一般公衆への内部被ばく及び外部被ばくに係る線量を評価するために開発された FORTRAN プログラムである。ORION-II は、我が国の安全審査に係る指針類に示されているモデルだけでなく、諸外国の評価モデル等の各種モデルをオプションとして有していることから、核燃料サイクル諸施設の安全審査に係るケーススタディ、あるいは放出実績に基づく線量評価等、広範な適用が可能である。

放射性物質の大気中における拡散は、ガウス型拡散式を基本として計算し、拡散過程における減少補正としては、重力沈降(gravitational settling)、乾性沈着(dry deposition)、降水洗淨(precipitation scavenging)及び放射性崩壊(radioactive decay)が考慮されている。また、沈着後の再浮遊(resuspension)による空气中濃度の上昇及び環境中における放射性崩壊に伴う壊変生成物についても考慮することができる。植物の可食部への移行は、葉面等への直接沈着及び経根吸収により生ずるものとし、これらを人または家畜が摂取する場合には、放射性減衰、市場希釈等を考慮する。内部被ばく経路として吸入摂取及び経口摂取を、外部被ばく経路として浸漬及び地表面沈着からの外部被ばくを考慮する。線量は、一般公衆の個人の線量として与えられる。なお、線量評価用の代謝モデル等は含まれておらず、線量換算係数を入力する方法を採用していることから、今後の評価モデル開発・変更に対しても、柔軟な対応が可能である。

OIRION-II は、最大 10 施設からの重畳効果を、最大限 30 核種、10 摂取経路について、1 回の実行で評価することができる。評価対象となる施設、核種、食物等は限定せず、広範な適用が可能である。

ORION-WIN は ORION-II をベースに、Windows OS を有する PC 環境で動作可能にし、かつ入力パラメータ作成及び出力ファイル参照等を GUI 化したものである。

2. 計算方法

本章では、大気中濃度、食物中濃度及び線量の計算方法について述べる。

2.1 大気中濃度の計算

2.1.1 大気拡散式

大気拡散式は、一般式として式(1)で表わされるガウス型の拡散式を用いる²⁾(Fig.1)。

$$\chi(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(Z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(Z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (1)$$

ここで、

- $\chi(x,y,z)$: 空間の点(x,y,z)における大気中濃度(Bq m⁻³)
 Q : 放出率(Bq s⁻¹)
 U : 放出高さにおける風速(m s⁻¹)
 H : 放出源の高さ(m)
 σ_y, σ_z : y方向及びz方向の拡散幅(m)

線量の評価においては、地表面における大気中濃度を計算するので、式(1)で $z = 0$ とすると、次式が得られる。

$$\chi(x,y,0) = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (2)$$

式(2)を基本とし、着目方位における平均濃度の算出にあたっては、次の3種類の濃度計算式をオプションにより指定できる。

オプション1: 軸上濃度(centerline concentration)

オプション2: 方位内平均濃度(sector-averaged concentration)

オプション3: 隣接方位を考慮した平均濃度(average concentration including adjacent sectors)

以下に各オプションの計算方法を示す。

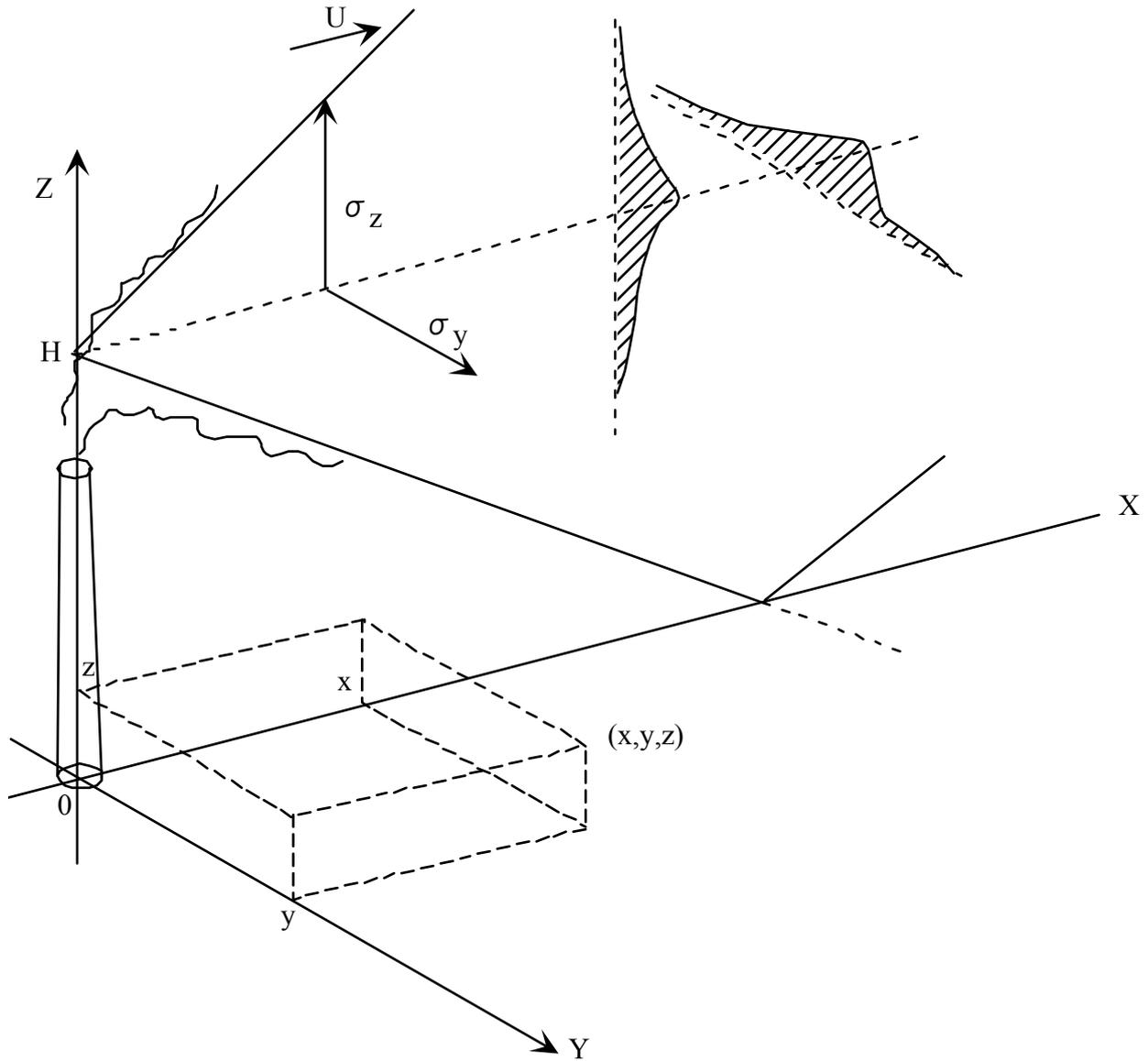


Fig.1 Schematic Diagram of Gaussian Plume Model.

オプション 1：軸上濃度計算式

$$\chi_{id}(x,0,0) = \sum_{S=A}^G \frac{F_{sw} \cdot Q_i}{\pi \cdot \sigma_{YS} \cdot \sigma_{ZS}} \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1} \cdot \exp\left(-\frac{H_{eds}^2}{2\sigma_{ZS}^2}\right) \cdot f_{Di} \cdot f_{Pi} \cdot f_{Ri} \quad (3)$$

$$H_{eds} = H_0 + \Delta H_{ds} - L_d - V_{gi} \cdot x \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1} \quad (4)$$

ここで、

$\chi_{id}(x,0,0)$: 方位 d の距離 x における核種 i の地表濃度(Bq m⁻³)

F_{sw}	: 大気安定度(s)別風向(w)の出現頻度
Q_i	: 核種 i の放出率(Bq s ⁻¹)
σ_{ys}, σ_{zs}	: 建屋の影響を考慮した y 方向及び z 方向の拡散幅(m)
$\langle U_{sw} \rangle^{-1}$: 大気安定度(s)別風向(w)別風速逆数の平均(s m ⁻¹)
H_{eds}	: 方位 d , 大気安定度 s に対する放出源の有効高さ(m)
f_{Di}	: 乾性沈着による減衰率
f_{pi}	: 降水洗浄による減衰率
f_{Ri}	: 放射性崩壊による減衰率
H_0	: 放出源の海拔高さ(m)
ΔH_{ds}	: 大気安定度(s), 方位(d)に対する吹上げ高さ(m)
L_d	: 方位 d の計算地点の海拔高さ(m)
V_{gi}	: 核種 i の重力沈降速度(m s ⁻¹)

ここで、風向(w)は風上方向を指し、方位(d)は風下方位を指す。従って N を 0° とし時計回りに計った場合、(角度 d) = (角度 w) + 180° の関係がある。

なお、核種 i が大気拡散の過程で親核種($i-1$)から生成した壊変生成物である場合、 Q_i は次式で計算する。

$$Q_i = Q_{i-1} \frac{\exp(-\lambda_{i-1} \cdot t) - \exp(-\lambda_i \cdot t)}{\lambda_i - \lambda_{i-1}} \cdot \lambda_i \cdot f_{D(i-1)} \cdot f_{P(i-1)} \cdot f_{R(i-1)} \quad (5)$$

$$t = x \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1} \quad (6)$$

オプション 2: 方位内平均濃度計算式³⁾

$$\chi_{id} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{8}{\pi} \cdot \sum_{S=A}^G \frac{F_{sw} \cdot Q_i}{\sigma_{zs} \cdot x} \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1} \cdot \exp\left(-\frac{H_{eds}^2}{2\sigma_{zs}^2}\right) \cdot f_{Di} \cdot f_{Pi} \cdot f_{Ri} \quad (7)$$

$$H_{eds} = H_0 + \Delta H_{ds} - L_d - V_{gi} \cdot x \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1} \quad (8)$$

各記号の意味は、式(3)及び(4)と同様とする。

オプション3：隣接方位を考慮した平均濃度計算式²⁾

$$\chi_{id} = \sum_{S=A}^G \frac{Q_i}{\pi \cdot \sigma_{YS} \cdot \sigma_{ZS}} \cdot \sum_{k=-1}^1 F_{s(w+k)} \cdot W_{sk} \cdot \langle U_{s(w+k)} \rangle^{-1} \cdot \exp\left(-\frac{H_{e(d+k)s}^2}{2\sigma_{ZS}^2}\right) \cdot f_{Di} \cdot f_{Pi} \cdot f_{Ri} \quad (9)$$

$$H_{e(d+k)s} = H_0 + \Delta H_{(d+k)s} - L_{d+k} - V_{gi} \cdot x \cdot \langle U_{s(w+k)} \rangle^{-1} \quad (10)$$

ここで、

w_{sk} : 大気安定度 s , 方位 k に対する均等化係数

$$W_{S1} = W_{S-1} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{\sigma_{YS}}{y_2 - y_1} \cdot \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{y_2}{\sqrt{2} \cdot \sigma_{YS}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{y_1}{\sqrt{2} \cdot \sigma_{YS}}\right) \right\} \quad (11)$$

$$W_{S0} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{\sigma_{YS}}{y_1} \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{y_1}{\sqrt{2} \cdot \sigma_{YS}}\right) \quad (12)$$

$$y_1 = \frac{\pi x}{16}$$

$$y_2 = \frac{3\pi x}{16}$$

他の記号の意味は、式(3)及び式(4)と同様とする。

ブルームの拡散過程で発生する放射性物質の減少補正については、次の4つの現象を考慮することができる。

- (1)重力沈降(gravitational settling)
- (2)乾性沈降(dry deposition)
- (3)降水洗浄(precipitation scavenging)
- (4)放射性崩壊(radioactive decay)

以下に各減少補正の計算方法を示す。

- (1)重力沈降(gravitational settling)

重力沈降の補正は、Fig.2 に示すとおり、見かけ上、放出源の高さを低減させるものとする。

すなわち、式(4)、(8)及び(10)の中の $[-V_{gi} \cdot X \cdot (U_{sw})^{-1}]$ の項が親核種の重力沈降の補正項である。
 $H_{eds} < 0$ の時は、 $H_{eds} = 0$ として計算する。なお、核種 i が親核種($i-1$)の壊変生成物である場合、
 式(4)、(8)及び(10)に $[-V_{g(i-1)} \cdot X \cdot (U_{sw})^{-1}]$ の項を追加する。

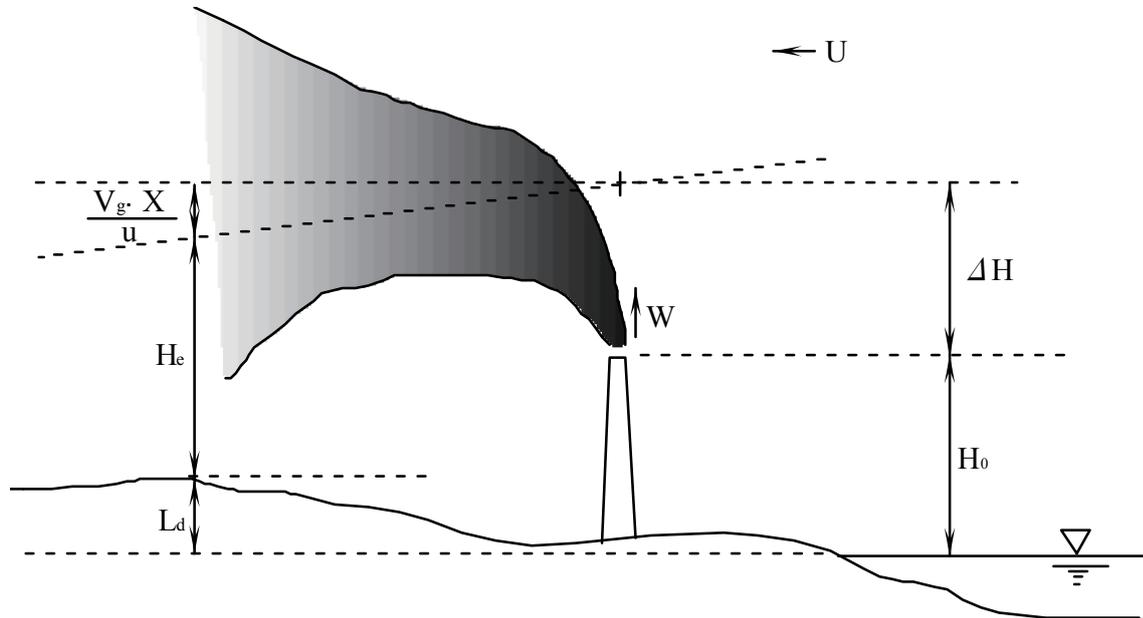


Fig.2 Schematic Diagram of Plume Rise from the Stack.

(2) 乾性沈着(dry deposition)

微小な粒子状物質の場合に、重力沈降以外の効果による沈着現象が発生することが観察されている。これは、地表面での吸着、化学反応、静電引力等によると考えられ、乾性沈着と呼ばれている。

核種 i の乾性沈着速度を V_{Di} とすると、減衰補正項 f_{Di} は、式(13)で表わされる。

$$f_{Di} = \exp \left\{ -\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot V_{Di} \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1} \cdot \int_0^x \frac{1}{\sigma_{zs}} \cdot \exp \left(-\frac{H_{eds}^2}{2\sigma_{zs}^2} \right) dx \right\} \quad (13)$$

$$H_{eds} = H_0 + \Delta H_{ds} - L_d - V_{gi} \cdot x \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1} \quad (14)$$

ここで、

V_{Di} : 核種 i の乾性沈着速度 (m s^{-1})

なお、核種 i が親核種($i-1$)の壊変生成物である場合、式(14)に $[-V_{g(i-1)} \cdot X \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1}]$ の項を追加する。

(3) 降水洗浄(precipitation scavenging)

降雨及び降雪による空气中放射性物質の「洗い落とし」の効果は、降水洗浄と呼ばれる。減少補正項 f_{pi} は、式(15)で表わされるものとする。

$$f_{pi} = \exp(-F_{pr} \cdot \Lambda_i \cdot x \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1}) \quad (15)$$

ここで、

F_{pr} : 降水割合の補正係数

Λ_i : 核種 i の降水洗浄係数(s^{-1})

(4)放射性崩壊(radioactive decay)

放射性崩壊による減衰は、特に短半減期核種の場合、顕著である。減衰補正項 f_{Ri} は、式(16)で表わされる。

$$f_{Ri} = \exp(-\lambda_i \cdot x \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1}) \quad (16)$$

ここで、

λ_i : 核種 i の崩壊定数(s^{-1})

2.1.2 拡散幅計算式

y 方向及び z 方向の拡散幅の計算は、Briggs の内挿式⁵⁾及び Pasquill-Meads の線図をもとにした気象指針²⁾の式により計算することができる。以下の3種類のオプションが用意されている。なお、計算上大気安定度 G は F として取り扱う。

オプション1: Briggs の内挿式(田園地域用)

田園地域のような比較的平坦な地域に適用できる Briggs の内挿式は、Table 1 及び Fig. 3 のように与えられる。なお、この計算式は AIRDOS-EPA コード⁶⁾においても用いられている。

オプション2: Briggs の内挿式(都市域用)

比較的起伏の多い地域に適用できる Briggs の内挿式は、Table 2 及び Fig.4 のように与えられる。

オプション3: 気象指針の式

気象指針に与えられた拡散幅計算式は、式(17),(18)のとおりであり、図で表すと Fig.5 のように

なる。

$$\sigma_z = k \cdot \theta_1 \cdot (8 - \log x) \cdot x \quad (17)$$

$$\sigma_z = \sigma_0 \cdot (10^{-3} \cdot x)^{P_0 + P_1 \cdot \log(10^{-3} \cdot x) + P_2 \cdot \log^2(10^{-3} \cdot x)} \quad (18)$$

ただし、 x は風下距離で、単位は m である。また、 $\sigma_z < 1,000$ m とする。式(17),(18)のパラメータは Table 3 に示すとおりである。

なお、建屋による影響を考慮する場合、拡散幅を式(19),(20)のように取り扱う。

$$\sigma_{YS} = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_{y0}^2} \quad (19)$$

$$\sigma_{ZS} = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_{z0}^2} \quad (20)$$

$$\sigma_{y0}^2 = \sigma_{z0}^2 = \frac{A}{2\pi} \quad (21)$$

ここで、

A : 建屋断面積(m²)

Table 1 Briggs' Interpolated Equations for Open-Country Condition.

Atmospheric Stability	σ_y (m)	σ_z (m)
A	$0.22X(1+0.0001X)^{-1/2}$	0.20X
B	$0.16X(1+0.0001X)^{-1/2}$	0.12X
C	$0.11X(1+0.0001X)^{-1/2}$	$0.08X(1+0.0002X)^{-1/2}$
D	$0.08X(1+0.0001X)^{-1/2}$	$0.06X(1+0.0015X)^{-1/2}$
E	$0.06X(1+0.0001X)^{-1/2}$	$0.03X(1+0.0003X)^{-1/2}$
F	$0.04X(1+0.0001X)^{-1/2}$	$0.016X(1+0.0003X)^{-1/2}$

(a) Values of X are downwind distances in meters.

Table 2 Briggs' Interpolated Equations for Urban Condition.

Atmospheric Stability	σ_y (m)	σ_z (m)
A	$0.32X(1+0.0004X)^{-1/2}$	$0.24X(1+0.001X)^{-1/2}$
B	$0.32X(1+0.0004X)^{-1/2}$	$0.24X(1+0.001X)^{-1/2}$
C	$0.22X(1+0.0004X)^{-1/2}$	0.20X
D	$0.16X(1+0.0004X)^{-1/2}$	$0.14X(1+0.0003X)^{-1/2}$
E	$0.11X(1+0.0004X)^{-1/2}$	$0.08X(1+0.0015X)^{-1/2}$
F	$0.11X(1+0.0004X)^{-1/2}$	$0.08X(1+0.0015X)^{-1/2}$

(a) Values of X are downwind distances in meters.

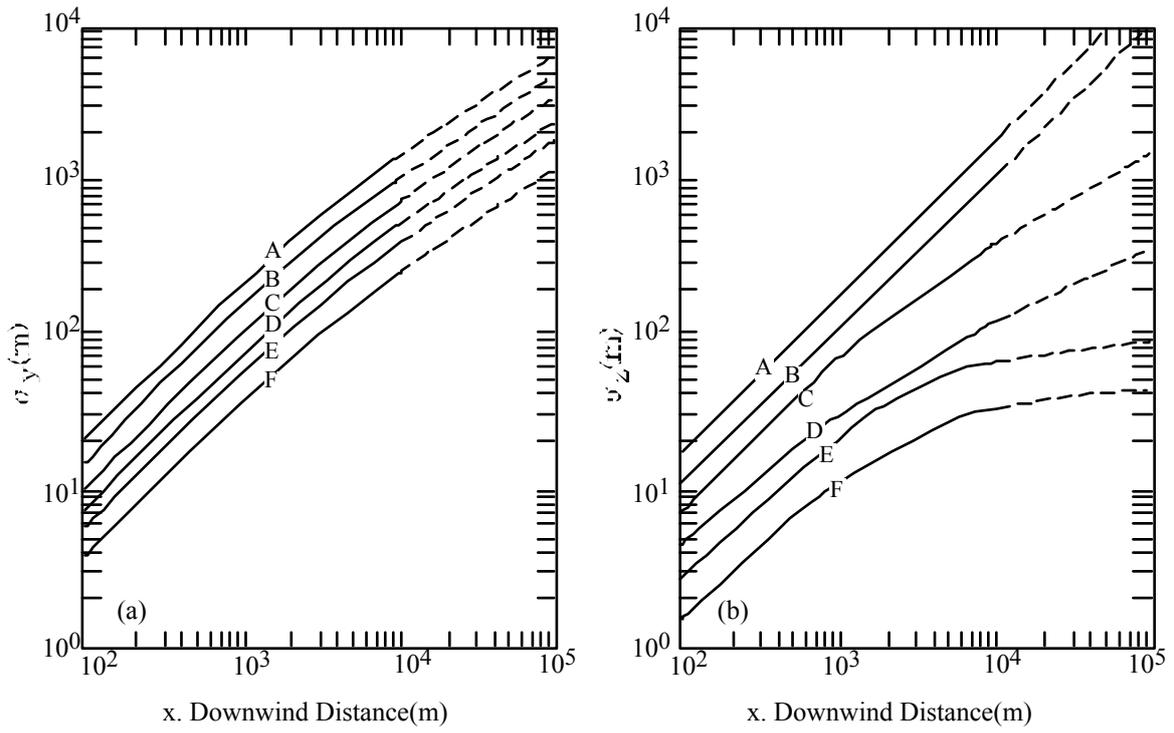


Fig.3 Distribution of σ_y and σ_z by Briggs' Interpolated Equation for Open-Country Condition

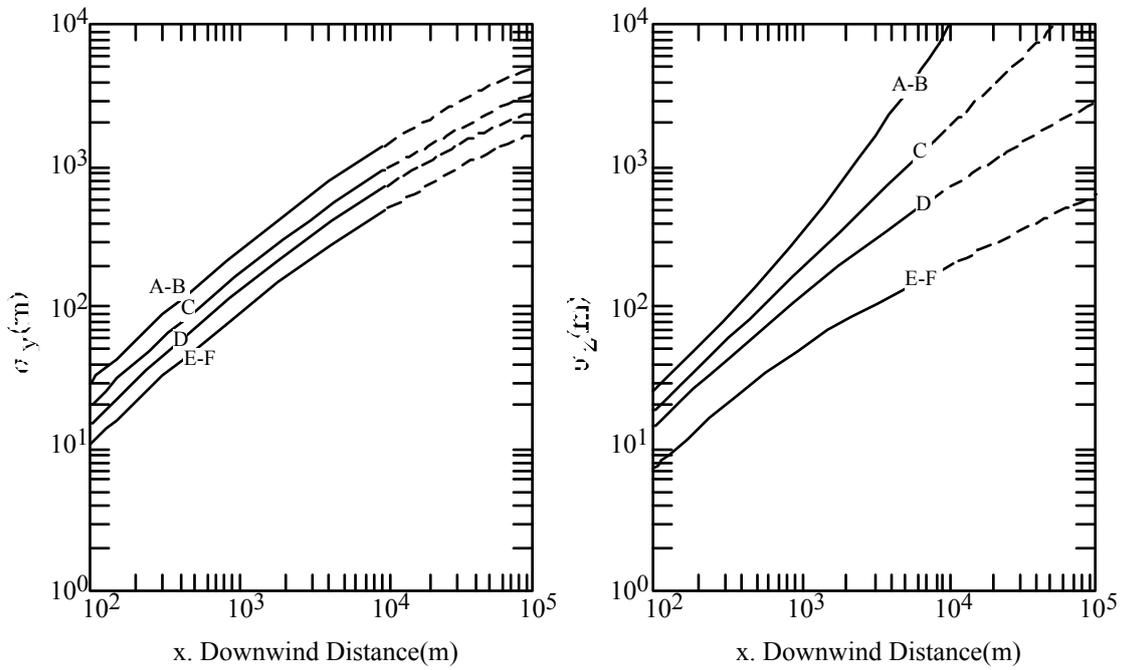


Fig.4 Distribution of σ_y and σ_z by Briggs' Interpolated Equation for Urban Condition

Table 3 Constants for equations (17) and (18).

Downwind distance $x \geq 200\text{m}$

Stability	σ_0	p_0	p_1	p_2
A	768.1	3.9077	3.898	1.7330
B	122.0	1.4132	0.49523	0.12772
C	58.1	0.8916	-0.001649	0.0
D	31.7	0.7626	-0.095108	0.0
E	22.2	0.7117	-0.12697	0.0
F	13.8	0.6582	-0.1227	0.0

Downwind distance $x < 200\text{m}$

Stability	σ_0	p_0	p_1	p_2
A	165	1.07	0.0	0.0
B	83.7	0.894	0.0	0.0
C	58.0	0.891	0.0	0.0
D	33.0	0.854	0.0	0.0
E	24.4	0.854	0.0	0.0
F	15.5	0.822	0.0	0.0

Downwind distance $x \geq 0\text{m}$

Stability	k	θ_1
A	} 6.7775×10^{-4}	50
B		40
C		30
D		20
E		15
F		10

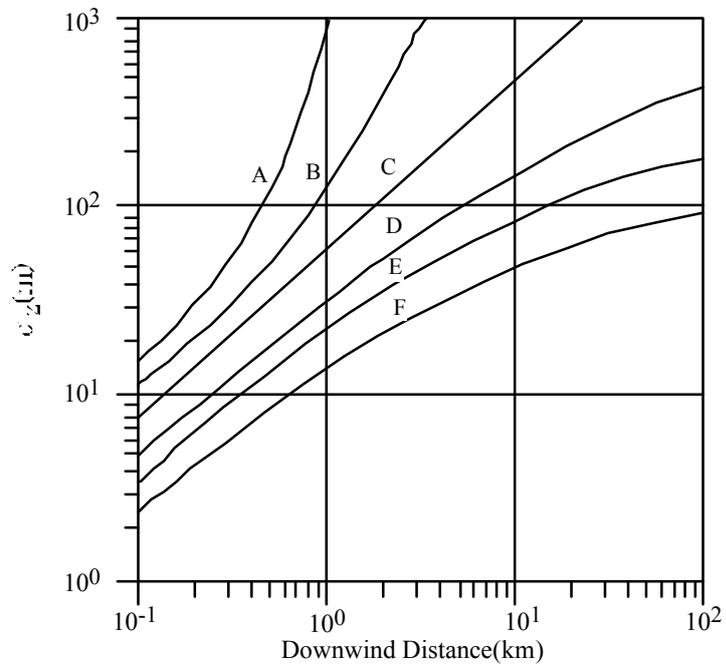
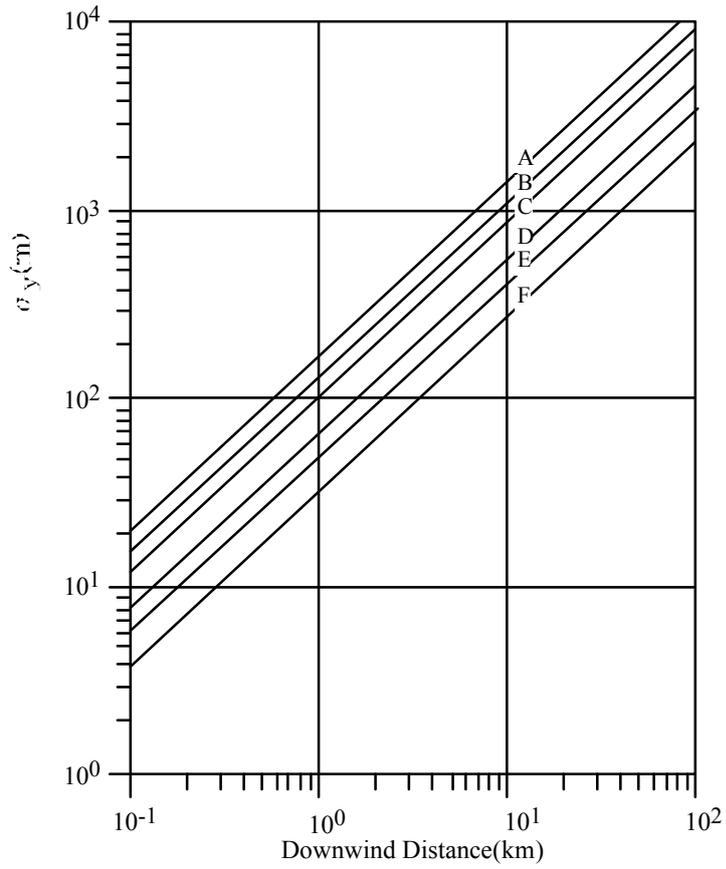


Fig.5 Distribution of σ_y and σ_z Expressed by Equation (17) and (18)

2.1.3 吹き上げ高さ計算式

吹き上げ高さは、気象指針²⁾及び IAEA Safety Series No.50⁷⁾を参考として計算する方法、風洞実験結果などを有効高さとして入力する方法の3つのオプションが用意されている。

オプション1：Briggs の中立式(気象指針の式)

全ての大気安定度について、吹き上げ高さ ΔH_{ds} を式(21)で計算する。

$$\Delta H_{ds} = 3 \cdot W_0 \cdot D \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1} \quad (21)$$

ここで、

W_0 : 排出速度(m s^{-1})

D : 排気筒出口内径(m)

オプション2：IAEA Safety Series No.50 の式

IAEA Safety Series No.50 によると、吹き上げ高さ ΔH_{ds} は、式(21)'、(22)、(22)'及び(23)で計算する。

(i)大気安定度 A, B, C, D の場合、

$$\Delta H_{ds} = 3 \cdot W_0 \cdot D \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1} \quad (21)'$$

$$\Delta H_{ds} = 1.44 \cdot D \cdot (W_0 \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1})^{2/3} \cdot (X/D)^{1/3} - C \quad (22)$$

ここで、

C : $W_0 < 1.5 \cdot U_{sw}$ に対してのダウンウォッシュ補正因子

$$C = 3 \cdot (1.5 - W_0 \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1}) \cdot D_E \quad (C \geq 0)$$

D_E : 排気筒出口外径(m)

ダウンウォッシュ補正因子は Fig. 6 に示す吹き上げ高さの低減幅である⁸⁾。評価上は、式(21)'及び(22)の計算結果のうち、小さい方の値を用いる。

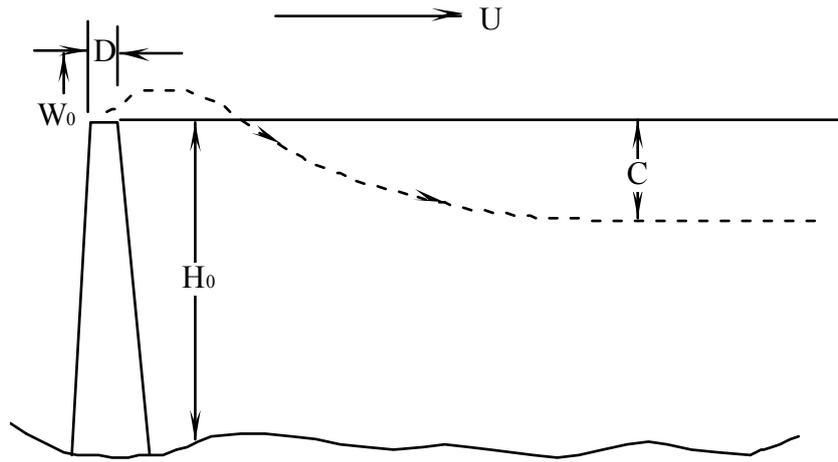


Fig. 6 Schematic Diagram of Plume Downwashes below the Top of the Stack.

(ii) 大気安定度 E, F, G の場合

$$\Delta H_{ds} = 1.44 \cdot D \cdot (W_0 \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1})^{2/3} \cdot (X/D)^{1/3} - C \quad (22)'$$

$$\Delta H_{ds} = 4 \cdot \left(\frac{F_m}{S} \right)^{1/4} \quad (23)$$

$$\Delta H_{ds} = 1.5 \cdot S^{-1/6} \cdot (F_m \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1})^{1/3} \quad (24)$$

ここで、

F_m : 運動量束のパラメータ

$$F_m = W_o^2 \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

ここで、

S : 安定度パラメータ

安定度 E に対して、 $S = 8.7 \times 10^{-4}$

安定度 F 及び G に対して、 $S = 1.75 \times 10^{-3}$

式(22)'、(23)及び(24)の計算結果のうち、最小の値を用いる。

オプション3：放出源の有効高さを入力

H_{eds} として、風洞実験の結果などによる放出源の有効高さを、方位毎、大気安定度毎に入力する。

2.2 食物中濃度の計算

ORION-WIN では、最大限 10 種類の食物を取り扱うことができる。食物の種類は、式(30)～(37)により濃度を算出できるものについては、任意に定義することができる。

2.2.1 沈着率計算式

地表面、葉面等への沈着は、Fig. 7 に示すように乾性沈着及び降水洗浄による沈着を考慮する。

(i)乾性沈着率計算式

核種 i の乾性沈着速度を V_{Di} (m s^{-1}) とすると、乾性沈着率 W_{Di} ($\text{Bq m}^{-2} \text{s}^{-1}$) は、以下の式により計算される。

$$W_{Di} = V_{Di} \cdot \chi_{id} \quad (25)$$

(ii)降水洗浄による沈着率計算式

核種 i の降水洗浄係数を Λ_i (s^{-1})、降水割合の補正係数を F_{Pr} とすると、沈着率 W_{pi} ($\text{Bq m}^{-2} \text{s}^{-1}$) は、次式で与えられる⁹⁾。

$$W_{pi} = F_{pr} \cdot \Lambda_i \int_0^{\infty} \chi_i(x, y, z) dz \quad (26)$$

従って、拡散式オプションの選択に応じて計算式(27)、(28)及び(29)を使用する。

拡散式オプション1の時：

$$W_{pi} = \sum_{S=A}^G \frac{F_{pr} \cdot \Lambda_i \cdot Q_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{Ys}} \cdot F_{sw} \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1} \cdot f_{Di} \cdot f_{Pi} \cdot f_{Ri} \quad (27)$$

拡散式オプション2の時：

$$W_{pi} = \sum_{S=A}^G \frac{8 \cdot F_{pr} \cdot \Lambda_i \cdot Q_i}{\pi x} \cdot F_{sw} \cdot \langle U_{sw} \rangle^{-1} \cdot f_{Di} \cdot f_{Pi} \cdot f_{Ri} \quad (28)$$

拡散式オプション3の時：

$$W_{pi} = \sum_{S=A}^G \frac{F_{pr} \cdot \Lambda_i \cdot Q_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{Ys}} \sum_{k=1}^1 F_{S(W+K)} \cdot W_{SK} \cdot \langle U_{S(W+K)} \rangle^{-1} \cdot f_{Di} \cdot f_{Pi} \cdot f_{Ri} \quad (29)$$

総沈着率 W_{Ti} は、乾性沈着率に降水洗浄率を加えたものとする。

$$W_{Ti} = W_{Di} + W_{Pi}$$

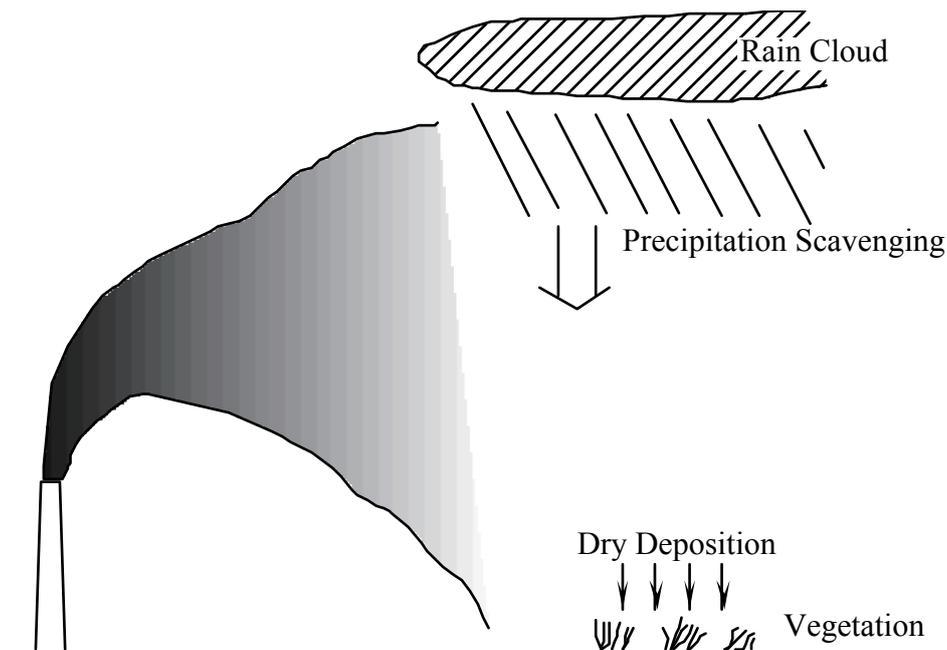


Fig. 7 Schematic Diagram of Deposition Mechanism.

2.2.2 食物中濃度計算式

植物中の核種 i の濃度は、式(30)により計算する。なお、核種 i が大気拡散及び沈着後に親核種($i-1$)からの生成核種である場合には、式(31)により計算する¹⁰⁾。

$$C_{ijd}^v = W_{Tid} \left\{ \frac{r_{ij} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{Eij} \cdot t_{ej})]}{\lambda_{Eij} \cdot Y_{jd}} + \frac{B_{ij} \cdot [1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)]}{\lambda_{id}^G \cdot P_{jd}} \right\} \quad (30)$$

$$C_{ijd}^v = W_{Tid} \left\{ \frac{r_{ij} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{Eij} \cdot t_{ej})]}{\lambda_{Eij} \cdot Y_{jd}} + \frac{B_{ij} \cdot [1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)]}{\lambda_{id}^G \cdot P_{jd}} \right\} + W_{T(i-1)d} \frac{B_{ij}}{P_{jd}} \left\{ \frac{\lambda_i^G}{\lambda_{i-1}^G - \lambda_i^G} \left[\frac{1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)}{\lambda_i^G} - \frac{1 - \exp(-\lambda_{i-1}^G \cdot t_b)}{\lambda_{i-1}^G} \right] \right\} \quad (31)$$

ここで、

C_{ijd}^v : 方位 d の計算地点における植物 j 中の核種 i の濃度(Bq kg⁻¹)

W_{Tid} : 方位 d の計算地点における核種 i の総沈着率(Bq m⁻² s⁻¹)

r_{ij} : 植物 j に直接沈着した核種 i の可食部への移行率

λ_{Eij} : 核種 i の植物 j からの実効除去係数(s⁻¹)

$$\lambda_{Eij} = \lambda_i + \lambda_{wij}$$

λ_i : 核種 i の物理的崩壊定数(s⁻¹)

λ_{wij} : 核種 i の植物 j からのウェザリングによる除去係数(s⁻¹)

t_{ej} : 植物 j が成長期に放射性核種を含む空気に曝される期間(s)

Y_{jd} : 方位 d の計算地点における植物 j の単位面積あたりの収量(kg m⁻²)

B_{ij} : 核種 i の土壌から植物 j の可食部への移行率(Bq kg⁻¹(植物) per Bq kg⁻¹(土壌))

λ_i^G : 核種 i の土壌からの実効除去係数(s⁻¹)

$$\lambda_i^G = \lambda_i + \lambda_{wi}^G$$

λ_{wi}^G : 核種 i の土壌からのウェザリングによる除去係数(s⁻¹)

t_b : 土壌中放射性核種の蓄積期間(s)

P_{jd} : 方位 d の計算地点における植物 j の栽培されている土壌の実効表面密度(kg m⁻²)

$W_{T(i-1)d}$: 方位 d の計算地点における親核種($i-1$)からの生成核種 i の総沈着率(Bq m⁻² s⁻¹)

λ_{i-1}^G : 核種 i の親核種($i-1$)の土壌からの実効除去係数(s⁻¹)

但し、トリチウム(³H)及び炭素-14(¹⁴C)については、 C_{ijd}^v に代えて、R.G.1.109¹⁰⁾に示された式(32)

及び(33)を用いることができる。

$$^3\text{H} \quad : \quad C_{ijd}^v = F_{Wj} \cdot R_{pj} / H \cdot \chi_{id} = 0.375 \cdot \frac{1}{H} \cdot \chi_{id} \quad (32)$$

ここで、

- F_{wj} : 植物 j 中の水分割合(0.75)
 R_{pj} : 空気中 ^3H 濃度に対する植物 j 中 ^3H 濃度の比率(0.5)
 H : 大気中水分量(kg m^{-3})

$$^{14}\text{C} : C_{ijd}^v = F_{cj} \cdot \frac{1}{C_c} \cdot \chi_{id} = 687.5 \cdot \chi_{id} \quad (33)$$

ここで、

- F_{cj} : 植物 j 中の炭素割合(0.11)
 C_c : 空気中炭素濃度(kg m^{-3})(1.6×10^{-4})

なお、 R_{pj} , C_c の値が得られた場合には、計算値を補正することが必要である。

植物を、人あるいは家畜が食物として摂取する場合には、市場希釈等を考慮し、式(34)により計算する。

$$C_{ijd}^{VF} = C_{ijd}^V \cdot f_{cij}^F \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{hj}) \quad (34)$$

ここで、

- C_{ijd}^{VF} : 方位 d の計算地点で栽培された植物 j を食物として摂取する場合の食物中濃度
 (Bq kg^{-1})

- f_{cij}^F : 核種 i の市場希釈、調理等による残留割合

- t_{hj} : 植物 j を収穫してから食べるまでの期間(s)

また、牛乳及び肉を食物として摂取する場合の食物中濃度は、式(35)、(36)及び(37)により計算する⁸⁾。

$$C_{id}^M = F_{mi} \cdot C_{ijd}^{VM} \cdot Q_F \quad (35)$$

$$C_{ijd}^{VM} = f_{past} \cdot f_s \cdot C_{id}^{PF} + (1 - f_{past}) \cdot C_{id}^{SF} + f_{past} \cdot (1 - f_s) \cdot C_{id}^{SF} \quad (36)$$

$$C_{id}^{MF} = C_{id}^M \cdot f_i^F \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_h) \quad (37)$$

ここで、

C_{id}^M : 方位 d の計算地点における牛乳又は肉中の核種 i の濃度($Bq \ell^{-1}$ or $Bq kg^{-1}$)

F_{mi} : 核種 i が飼料から牛乳又は肉へ移行する割合($d \ell^{-1}$ or $d kg^{-1}$)

C_{ijd}^{VM} : 方位 d の計算地点における飼料中の核種 i の濃度($Bq kg^{-1}$)

Q_F : 家畜の1日当たりの飼料摂取量($kg d^{-1}$)

f_{past} : 1年間のうち家畜が牧草を食べることのできる割合(放牧されている期間の割合)

f_s : 家畜が牧草を食べることのできる期間に、実際に牧草を食べる割合

C_{id}^{PF} : 方位 d の計算地点における牧草中の核種 i の濃度($Bq kg^{-1}$)

C_{id}^{SF} : 方位 d の計算地点における貯蔵飼料中の核種 i の濃度($Bq kg^{-1}$)

C_{id}^{MF} : 方位 d の計算地点で飼育された家畜の牛乳又は肉を食物として摂取する場合の食物中濃度($Bq \ell^{-1}$ or $Bq kg^{-1}$)

f_i^F : 核種 i の市場希釈、調理等による残留割合

t_h : 搾乳又は屠殺から食べるまでの期間(s)

C_{id}^{PF} 及び C_{id}^{SF} については、式(30)～(34)により計算する。

2.3 線量の計算

2.3.1 内部被ばくに係る預託線量

(i) 吸入摂取(Inhalation)

空气中放射性物質の吸入摂取による預託線量は、沈着後の再浮遊を考慮し、式(38)により計算する。

$$D_{Tid}^I = \left\{ \lambda_{id} + W_{Tid} \frac{1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)}{\lambda_i^G} \cdot RF_i \right\} \cdot R \cdot DFH_{Ti} \quad (38)$$

なお、核種 i が親核種($i-1$)からの生成核種である場合は、式(39)により計算する。

$$D_{Tid}^I = \left\{ \lambda_{id} + \left[W_{Tid} \frac{1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)}{\lambda_i^G} + W_{T(i-1)d} \frac{\lambda_i^G}{\lambda_{i-1}^G - \lambda_i^G} \left(\frac{1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)}{\lambda_i^G} - \frac{1 - \exp(-\lambda_{i-1}^G \cdot t_b)}{\lambda_{i-1}^G} \right) \right] \cdot RF_i \right\} \cdot R \cdot DFH_{Ti} \quad (39)$$

ここで、

D_{Tid}^I : 方位 d の計算地点における核種 i の吸入摂取による臓器 T の預託線量(mSv)

RF_i : 核種 i の再浮遊係数(m^{-1})

R : 評価期間の呼吸量(m^3)

DFH_{Ti} : 核種 i の臓器 T に対する吸入量-預託線量変換係数($mSv Bq^{-1}$)

(ii)経口摂取(Oral Intake)

経口摂取による預託線量は、式(40)により計算する。

$$D_{Tij}^O = C_{ijd}^{VF} \cdot E_j \cdot DFO_{Ti} \quad (40)$$

ここで、

D_{Tij}^O : 方位 d の計算地点における食物 j 中の核種 i の経口摂取による臓器 T の預託線量(mSv)

E_j : 評価期間の食物 j の摂取量(kg or l)

DFO_{Ti} : 核種 i の臓器 T に対する経口摂取量-預託線量変換係数($mSv Bq^{-1}$)

なお、 C_{ijd}^{VF} は牛乳又は肉の時は、 C_{ijd}^{MF} を使用する。

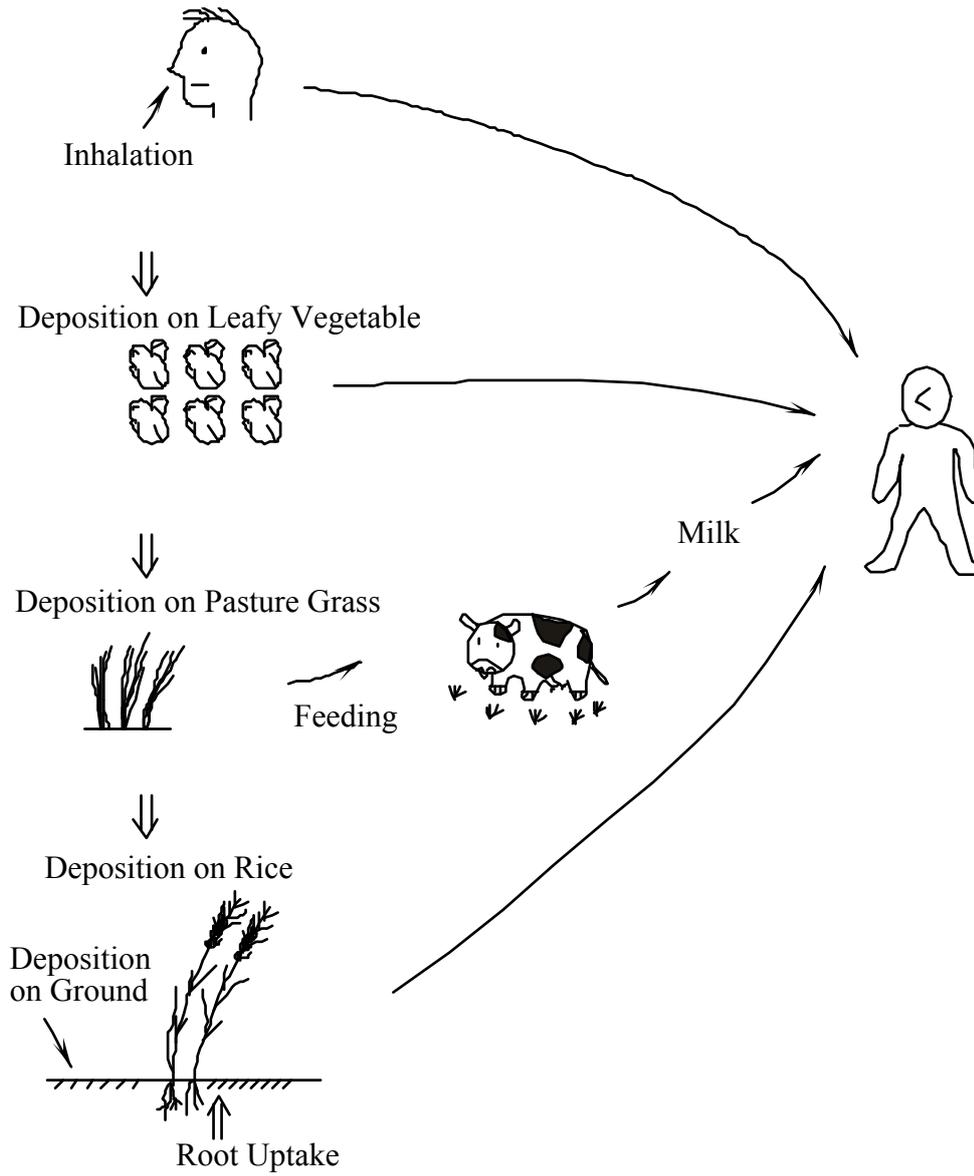


Fig. 8 Typical Scheme of Internal Exposure Pathways to Man from Airborne Discharge.

2.3.2 外部被ばくに係る線量

(1) 浸漬線量(Submersion dose)

放射性雲に浸漬した場合の線量は、沈着後の再浮遊を考慮し、式(41)により計算する。

$$D_{Tid}^S = \left\{ \lambda_{id} + W_{Tid} \frac{1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)}{\lambda_i^G} \cdot RF_i \right\} \cdot TS \cdot DFS_{Ti} \quad (41)$$

なお、核種 i が親核種 ($i-1$) からの生成核種である場合は、式(42)により計算する。

$$D_{Tid}^S = \left\{ \lambda_{id} + \left[W_{Tid} \frac{1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)}{\lambda_i^G} + W_{T(i-1)d} \frac{\lambda_i^G}{\lambda_{i-1}^G - \lambda_i^G} \left(\frac{1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)}{\lambda_i^G} - \frac{1 - \exp(-\lambda_{i-1}^G \cdot t_b)}{\lambda_{i-1}^G} \right) \right] \cdot RF_i \right\} \cdot TS \cdot DFS_{Ti} \quad (42)$$

ここで、

D_{Tid}^S : 方位 d の計算地点における核種 i による臓器 T の浸漬線量(mSv)

RF_i : 核種 i の再浮遊係数(m^{-1})

TS : 浸漬時間 (d)

DFS_{Ti} : 核種 i による臓器 T に対する空气中濃度-浸漬線量変換係数 ($mSv \text{ d}^{-1} \text{ per Bq m}^{-3}$)

(2) 地表沈着核種からの外部被ばく

地表沈着核種からの外部被ばくによる線量は、式(43)により計算する。

$$D_{Tid}^G = W_{Tid} \frac{1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)}{\lambda_i^G} \cdot TG \cdot DFG_{Ti} \quad (43)$$

なお、核種 i が親核種 ($i-1$) からの生成核種である場合は、式(44)により計算する。

$$D_{Tid}^G = \left\{ \begin{array}{l} W_{Tid} \frac{1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)}{\lambda_i^G} + W_{T(i-1)d} \frac{\lambda_i^G}{\lambda_{i-1}^G - \lambda_i^G} \cdot \\ \left(\frac{1 - \exp(-\lambda_i^G \cdot t_b)}{\lambda_i^G} - \frac{1 - \exp(-\lambda_{i-1}^G \cdot t_b)}{\lambda_{i-1}^G} \right) \end{array} \right\} \cdot TG \cdot DFG_{Ti} \quad (44)$$

ここで、

D_{Tid}^G : 方位 d の計算地点における核種 i による臓器 T の地表面沈着からの外部被ばくに関する線量(mSv)

TG : 地表面からの被ばく時間(d)

DFG_{Ti} : 核種 i の臓器 T に対する地表面沈着密度-線量変換係数(mSv d⁻¹ Bq⁻¹ m²)

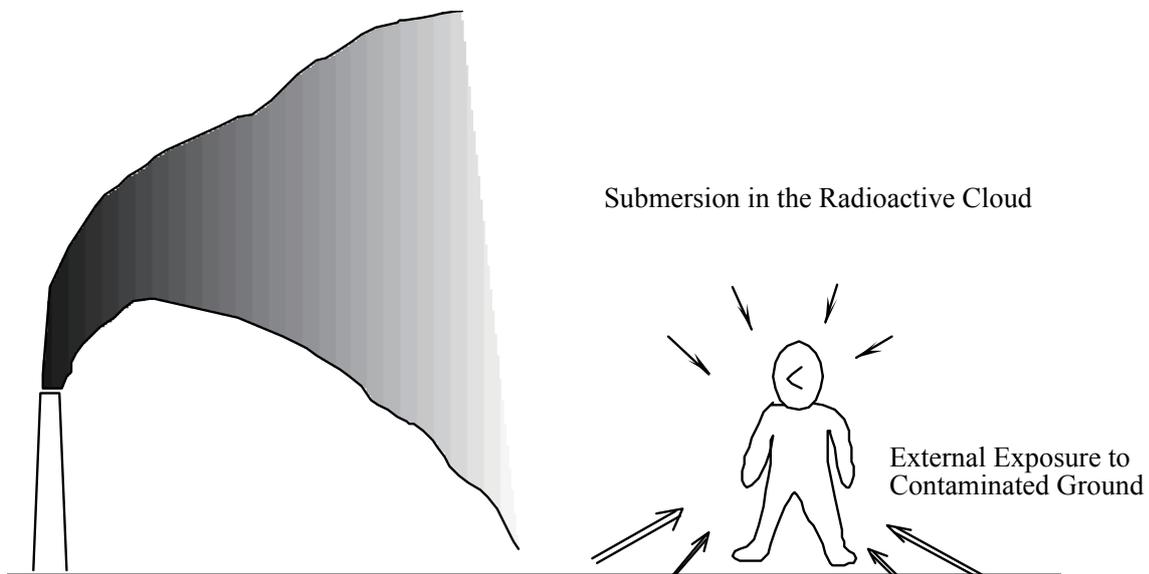


Fig. 9 External Exposure Pathways to Man from Airborne Discharge.

3. ORION-WIN の GUI 画面の概要

3.1 ORION-WIN のファイルディレクトリの構成

セットアップにより、“ORION-WIN”という名前のディレクトリが作成される。ディレクトリ内のファイル構成は以下の通りである。

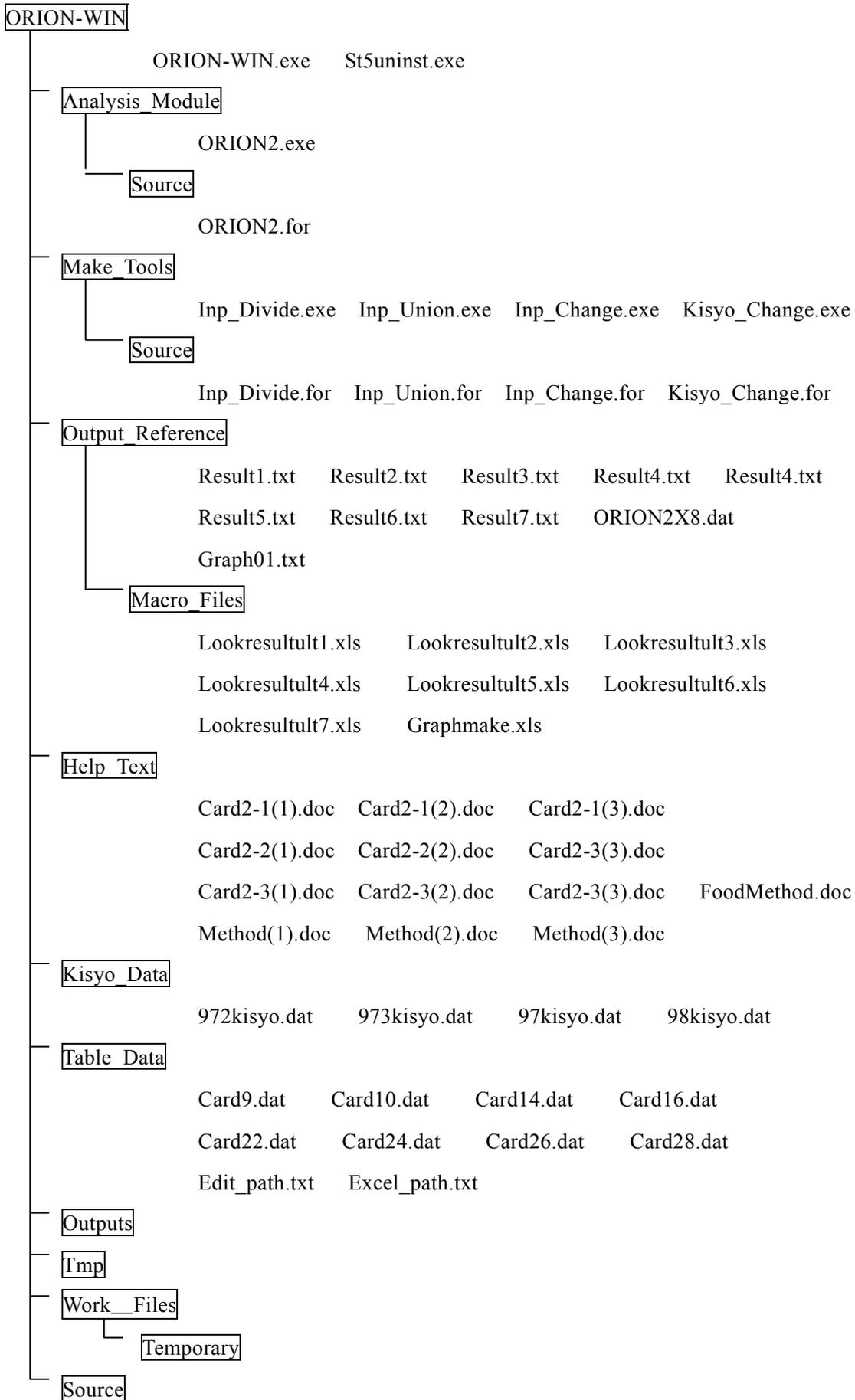


Table 4 Contents of the Directory of ORION-WIN.

ディレクトリ名	内容
ORION-WIN	メインディレクトリ
Analysis_Module	ORION-II の実行ファイル
Make_Tools	インプットファイルの作成ファイル
Output_Reference	アウトプットファイルと、アウトプットファイル用 Excel マクロファイル
Help_Text	Help 用文章ファイル
Kisyo_Data	気象データ格納ディレクトリ
Table_Data	テーブルデータファイル
Outputs	アウトプットファイル格納ディレクトリ
Tmp	テンポラリディレクトリ
Work_Files	テンポラリディレクトリ
Source	ORION-WIN のソースファイル

3.2 ORION-WIN の実行

ORION-WIN プログラムは、“ORION-WIN”ディレクトリの“Orion_win”アイコンをダブルクリックすることにより開始する。

3.3 ORION-WIN の操作

ORION-WIN プログラムは、以下の4つのモードを備えている。

- i) 入力データ作成モード
- ii) 解析モード
- iii) 出力ファイル参照モード
- iv) テーブル・ファイル編集モード

3.3.1 入力データ作成モード

入力データ作成モードでは、パラメータを入力する。入力用に、“年・年度評価モード”と“エキスパート・モード”の2つのオプションがある。“年・年度評価モード”では評価期間は365.25日に制限され、Card-2でのパラメータはTable 5に示すように固定である。

Table 5 Calculation Parameter in Card-2 in “YEAR EVALUATION MODE”.

Symbol	Description	Value
IOPT(1)	option for atmospheric dispersion calculation	3
IOPT(2)	option for plume rise calculation	3
IOPT(3)	option for dispersion parameter	3
IOPT(4)	option for ground level	1
IOPT(5)	option for input of agricultural productivity and effective density of soil	1
IOPT(6)	output option for normalized concentration and atmospheric concentration	1
IOPT(7)	input option for atmospheric concentration	0
ISETP	calculation option	0

“エキスパート・モード”では、Card 毎にパラメータを入力する。

3.3.2 解析モード

このモードで、ORION-II を実行する。“入力ファイルの選択”で既存のファイルを選択するか、“入力データ作成モード”で作成したファイルを選択し、ORION-II を実行する。

3.3.3 出力ファイル参照モード

このモードでは、ORION-II の出力ファイルを参照する。ORION-II の出力ファイルは以下の9つのファイルである。

- i) Result1.txt : 評価地点濃度 [x]
- ii) Result2.txt : 評価地点濃度 [x/Q]
- iii) Result3.txt : 地表面沈着率
- iv) Result4.txt : 食物中核種濃度
- v) Result5.txt : 内部線量
- vi) Result6.txt : 外部線量
- vii) Result7.txt : 合計線量(内部+外部)
- viii) Orion2x8.out : サマリーリスト
- ix) Graph01.txt : 線量のグラフ作成

3.3.4 テーブル・ファイル編集モード

このモードは、テーブル・ファイルを変更するために使用する。テーブル・ファイルは以下の通りである。

- i) 放出源に関するデータ：Card-10 に対するデータファイル
- ii) 植物に関するデータ：Card-14、Card-19 および Card-30 に対するデータファイル
- iii) 食物に関するデータ：Card-22、Card-25 および Card-30 に対するデータファイル
- iv) 臓器に関するデータ：Card-26 に対するデータファイル
- v) 核種の情報：Card-9 と Card-17 に対するデータファイル
- vi) 植物の情報：Card-16 に対するデータファイル
- vii) 食物の情報：Card-24 に対するデータファイル
- viii) 臓器の情報：Card-28 に対するデータファイル

参考文献

- 1) 篠原邦彦, 浅野智宏, 成田脩, ORION-II:原子力施設からの放射性物質の大気放出に起因する環境中濃度及び被ばく線量を評価するための計算コード, PNC TN8410 87-17, 1987.
- 2) 原子力安全委員会, 発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針, 平成13年3月一部改訂, 1989.
- 3) 平山昭生, 岸本洋一郎, 成田脩, 再処理工場陸上環境被ばく線量算出方法および計算コード: CONTE, PNC TN841 77-65, 1977.
- 4) 北原義久, 篠原邦彦, 原子力施設から大気放出される放射性物質の吸入摂取に起因する実効預託線量を計算するためのプログラム EFDOE 説明書, N843-81-04, 1981年4月
- 5) 環境庁, 窒素酸化物総量規制マニュアル, 公害研究対策センター, 昭和57年.
- 6) Moore, R. E., et al., AIRDOS-EPA: A Computerized Methodology for Estimating Environmental Concentrations and Dose to Man from Airborne Releases of Radionuclides, ORNL-5532, 1979.
- 7) IAEA, Atmospheric Dispersion in Relation to Nuclear Power Plants Siting, IAEA Safety Series No.50-SG-S3, 1982.
- 8) Hanna, S. R., Briggs, G. A., Hoster, R. P., Handbook on Atmospheric Diffusion, DOE/TIC-11223, 1982.
- 9) 日本原子力学会, 環境被曝線量評価, 1975.
- 10) U. S. NRC, Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR Part 50, Appendix I, Regulatory Guide 1.109, 1977.

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質	モル	mol
光	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	数メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	1	s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束密度	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照射度	ルーメン	lm		cd sr ^(c)
放射線核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみに使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CF-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘着力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エントロピー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電表面積電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ³ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
ストルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁻⁴ cd m ⁻²
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1G cm ² =10 ⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≡ (10 ³ /4π)A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≡」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 f=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

