

# 個人曝露評価における 技術的ポイント

熊谷信二

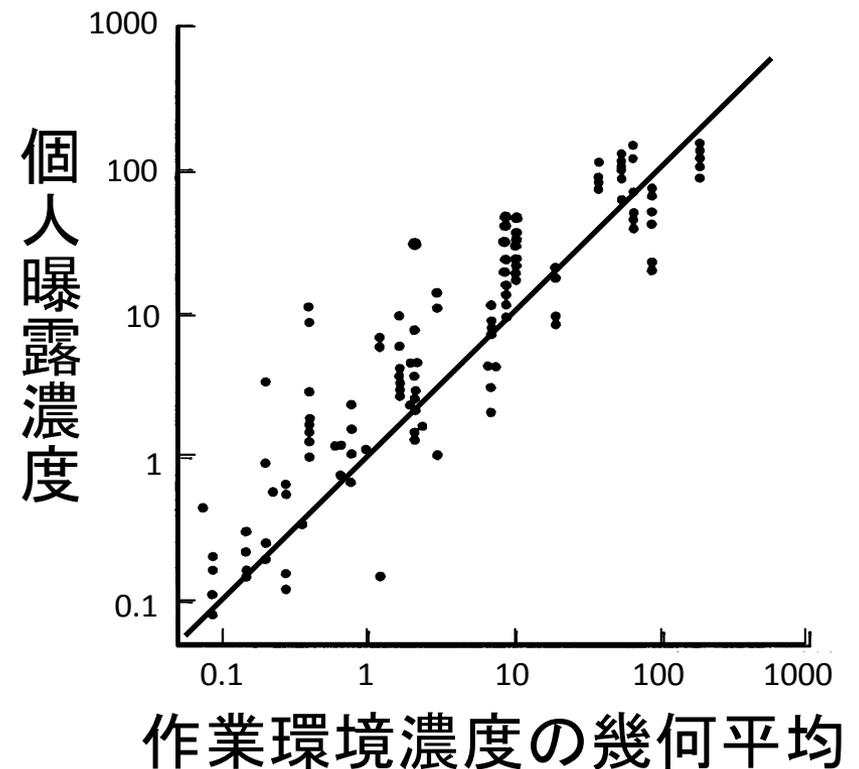
産業医科大学産業保健学部  
安全衛生マネジメント学

1. 個人曝露評価の重要性
2. 同一曝露グループ (SEG)
3. 8時間平均曝露濃度の変動要因
4. サンプルング時間
5. 日間変動の取り扱い
6. 管理区分
7. 最後に

# 1. 個人曝露評価の重要性

## 作業環境濃度の幾何平均と個人曝露濃度の関係

個人曝露濃度の方が高い傾向



(中央労働災害防止協会より)

# B測定値と個人曝露濃度の関係

個人曝露濃度がB測定値よりも高いのは256ケース中79ケース(30.9%)である

本来はB測定値は8時間曝露濃度よりも高いはず

## 矛盾の原因

B測定時に測定者が作業者に近づけない

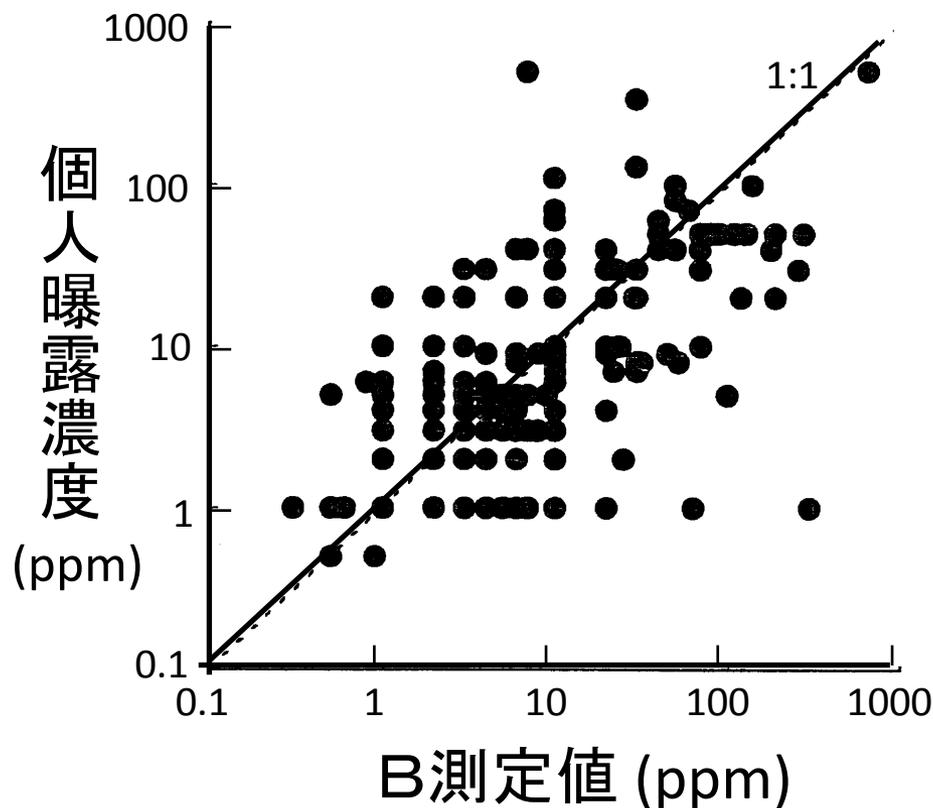


図6.3 B測定値と曝露濃度の関係  
(山室堅治ら)

# 管理区分と個人曝露濃度

	第1管理区分	第2管理区分	第3管理区分
有害物質*1	3.5 %	26.6 %	65.9 %
有機溶剤*2	4.0 %	12.8 %	36.5 %
鉛*3	11.0 %	21.4 %	30.0 %

\*1: 興重治, \*2: 鵜飼博彦, \*3: 滝沢顕彦ら

第1管理区分では3.5～11.0%の作業者が管理濃度を超えている  
第1管理区分でも、個人曝露濃度が管理濃度を超える作業者がいる  
(多くの場合、許容濃度を超える作業者と言い換えることができる)

⇒ 個人曝露測定が重要

## 2. 同一曝露グループ (SEG)

### 欧米では曝露評価の基本単位

NIOSH 1977	Homogeneous Risk Group
EN 689 1995	Homogeneous Exposure Group
AIHA 2006	Similar Exposure Group (SEG)
BOSH-NVvA 2011 英蘭労働衛生学会	Similarly Exposed Group (SEG)

評価の基本単位という意味では、  
作業環境測定における「単位作業場所」に相当  
ただし、単位作業場所内の作業者グループではない

# 同一曝露グループ (SEG)とは

同じ作業場で同一作業を行う作業者のグループ

同じ作業場: 内部に仕切りのない作業場

同一作業 : 同一の機械  
同一の化学物質  
同一の局所排気装置  
同一の作業内容 (塗装など)  
同一の作業方法 (吹付)



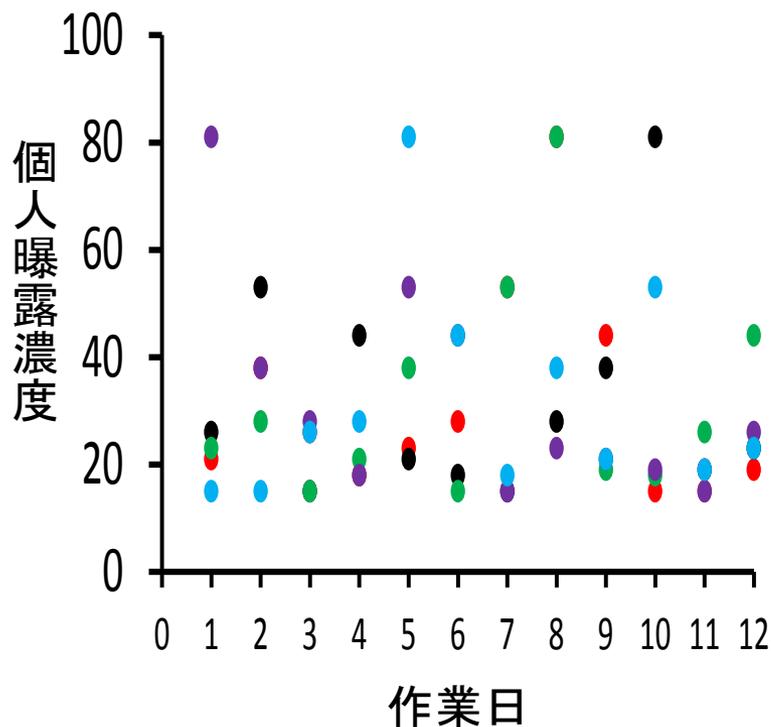
本当に同一曝露になるのか？

# 同一曝露とは

5人全員が40 ppmという意味ではない

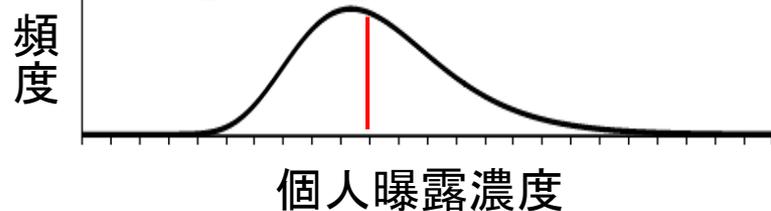
ある日の8-hr TWAが全員同じという意味ではない

各作業者の8-hr TWAには日間変動があるので、  
ある日の8-hr TWAの作業者間の差は日間変動の表れと捉える  
作業者間の本質的な差とは考えない

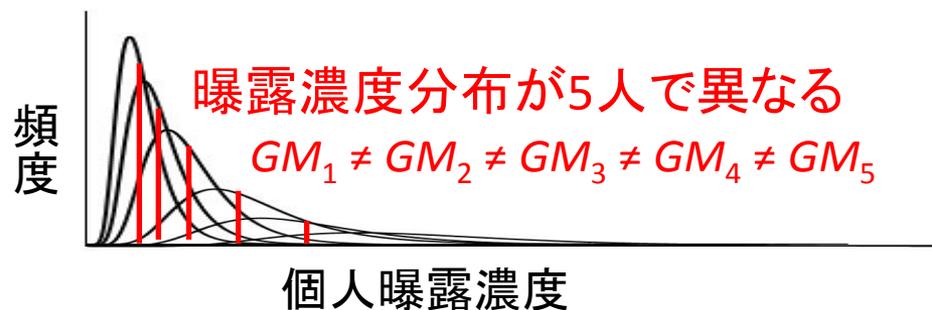


各作業者ごとに8-hr TWAを  
長期間集めて分布を  
作成すると同一になる

曝露濃度分布が5人とも同じ  
 $GM_1 = GM_2 = GM_3 = GM_4 = GM_5$



曝露濃度分布が5人で異なる  
 $GM_1 \neq GM_2 \neq GM_3 \neq GM_4 \neq GM_5$



# 同一曝露グループ (SEG)

現実には

SEG内の作業者であっても、曝露濃度分布は完全には一致しないが、大きな差がないとみなす

個人曝露濃度を測定して幾何標準偏差 *GSD* が大きい場合  
(目安として3.0以上) 日間変動を含む



測定の妥当性の確認:

測定値を精査、異常値等はないか?

測定上の問題はないか?

変動が大きい原因は何か?

SEGの設定が妥当か?

分割等が必要でないか?

作業者間の差に明確な理由があればグループを再分類  
SEGが作業者1人という場合もある

# 3. 8時間平均曝露濃度の変動要因

## SEG内の8-hr TWAの変動要因

作業者間変動と日間変動に分ける

### 作業者間変動

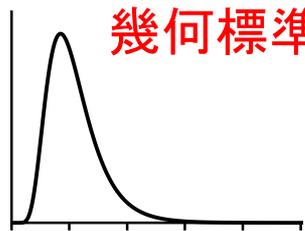
ある日の8時間平均濃度の作業者間の差のことではない  
日々の曝露濃度の長期間の幾何平均の作業者間変動

各作業者の幾何平均の幾何標準偏差  $GSD_w$  ← Worker

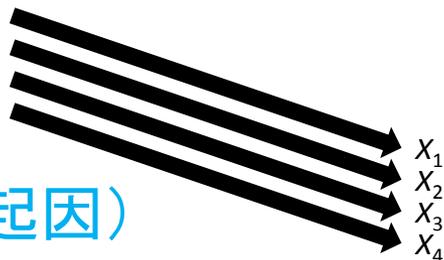
### 日間変動

作業環境の日間変動に起因するもの 日間変動 I,  $GSD_{DI}$  Day  
作業者自身の行動などの日間変動に起因するもの 日間変動 II,  $GSD_{DII}$  Day

# 作業者間変動(各作業者の8hr-TWAの日間分布の幾何平均の作業者間変動)

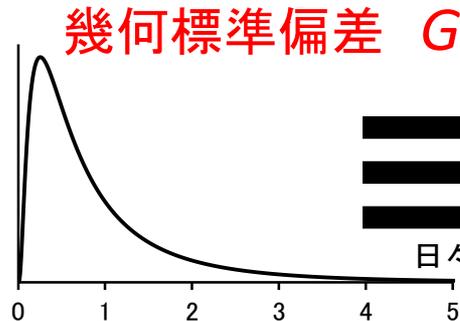


幾何標準偏差  $GSD_w$  完全に同一曝露であれば、 $GSD_w = 1$



$$\log^2 GSD_{SEG} = \log^2 GSD_w + \log^2 GSD_{DI} + 1 \log^2 GSD_{DII}$$

## 日間変動 I (環境起因)



幾何標準偏差  $GSD_{DI}$



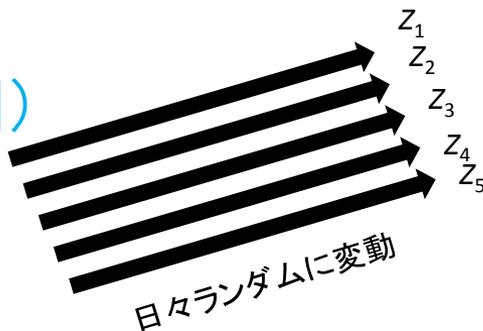
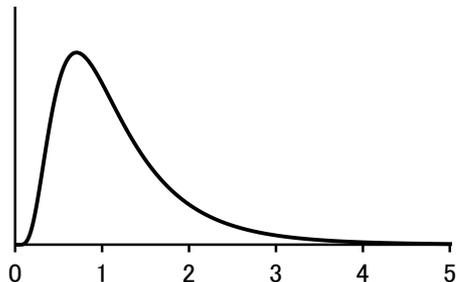
日々ランダムに変動

幾何標準偏差  $GSD_{SEG}$   
SEGの曝露分布



## 日間変動 II (個人起因)

幾何標準偏差  $GSD_{DII}$



日々ランダムに変動

# 作業者間変動(各作業者の8hr-TWAの幾何平均の作業者間変動)

幾何標準偏差  $GSD_w$

産業現場での中央値 1.3 (1.4) ← 屋外作業

↑  
屋内作業

## 日間変動 I (環境起因)

幾何標準偏差  $GSD_{DI}$

産業現場での中央値 1.3 (2.9)

産業現場での90%上限値 1.95

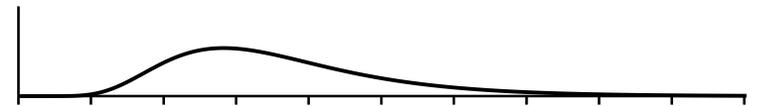
$\log^2 1.95 = 0.084$

## 日間変動 II (個人起因)

幾何標準偏差  $GSD_{DII}$

産業現場での中央値 1.7 (1.7)

## SEGの曝露分布



幾何標準偏差  $GSD_{SEG}$

産業現場での中央値 1.9 (3.4)

$\log^2 GSD_{SEG}$

$= \log^2 GSD_w + \log^2 GSD_{DI} + 1 \log^2 GSD_{DII}$

# ある日に5人の個人暴露濃度を測定

作業者間変動(各作業者の8hr-TWAの幾何平均の作業者間変動)

幾何標準偏差  $GSD_w$

産業現場での中央値 1.3 (1.4) ← 屋外作業

↑  
屋内作業

~~日間変動 I (環境起因)~~

~~幾何標準偏差  $GSD_{DI}$~~

~~産業現場での中央値 1.3 (2.9)~~

日間変動 II (個人起因)

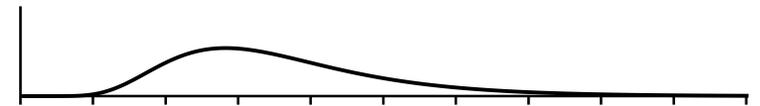
幾何標準偏差  $GSD_{DII}$

産業現場での中央値 1.7 (1.7)

産業現場での90%値 2.4 (2.4)

## ある日の曝露分布

$$\log^2 GSD_{SEG} = \log^2 GSD_w + \log^2 GSD_{DII}$$



幾何標準偏差  $GSD_{SEG}$

産業現場での中央値 1.8 (1.9)

産業現場での90%値 2.5 (2.6)

$GSD_{SEG}$  が3以上だと、  
作業者間変動が通常より  
大きい可能性がある

## 4. サンプリング時間

許容濃度 (OEL) 8-hr TWAとして定められている

8時間サンプリングが基本

初回測定時には、原則として8時間サンプリング

しかし、毎回8時間サンプリングを実施すると  
コストと労力が多大となる

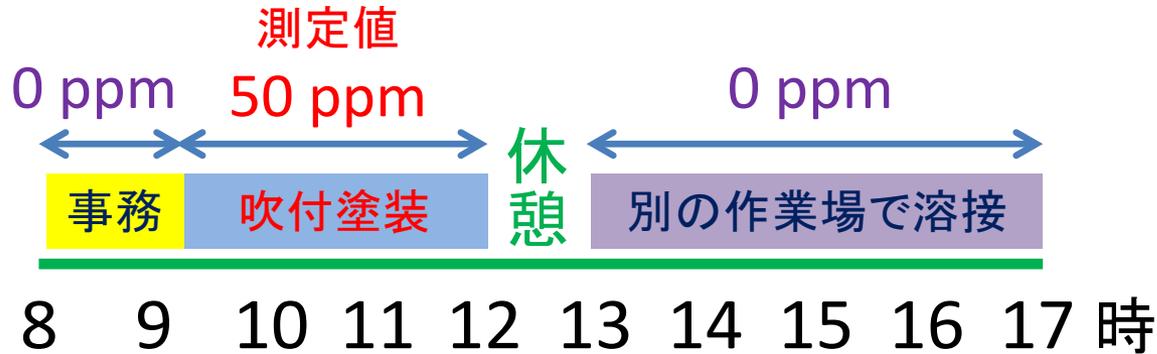
午前あるいは午後にサンプリング(測定者の移動や準備も含めて)が完了できれば、機動的な測定が可能になる



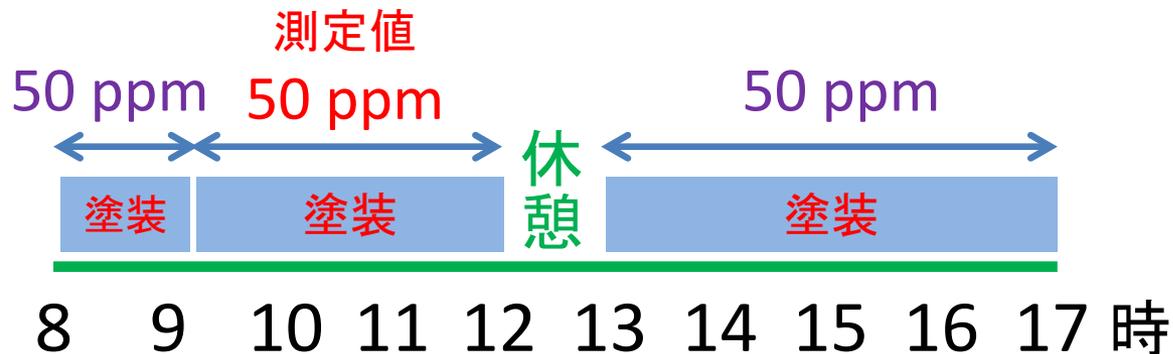
サンプリング時間を2時間以上確保すればよいこととする

# サンプリング時間が8時間未満の測定値の評価

- ① サンプリング時間帯以外は対象作業がないケース  
⇒ 対象作業がない時間帯の曝露濃度を0と仮定



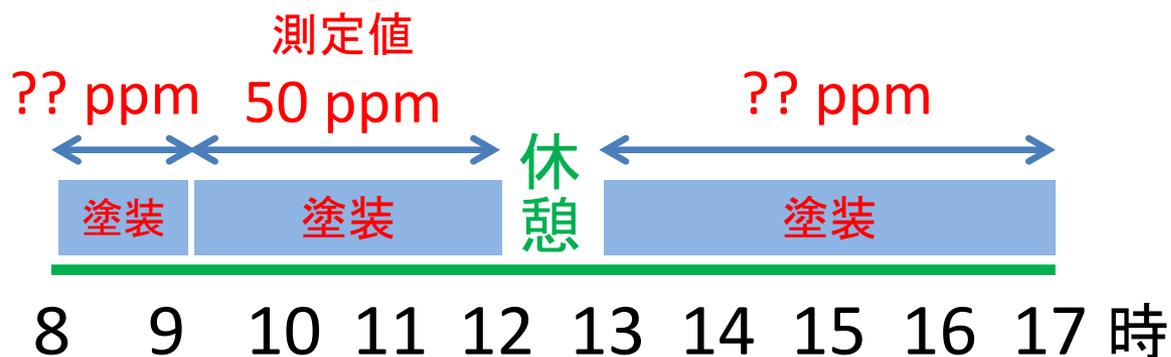
- ② サンプリング時間帯とそれ以外の時間帯に同一の作業が行われる場合で、時間的変動が小さいと判断できるケース  
⇒ 両時間帯の曝露濃度を同一とみなす



# サンプリング時間が8時間未満の測定値の評価

## ③時間的変動が小さいと判断できないケース

⇒ 日内変動の大きさを考慮した係数を測定値に乗じる  
(例: 2時間サンプリングの測定値は2倍する)



測定していない時間帯の曝露濃度を推定



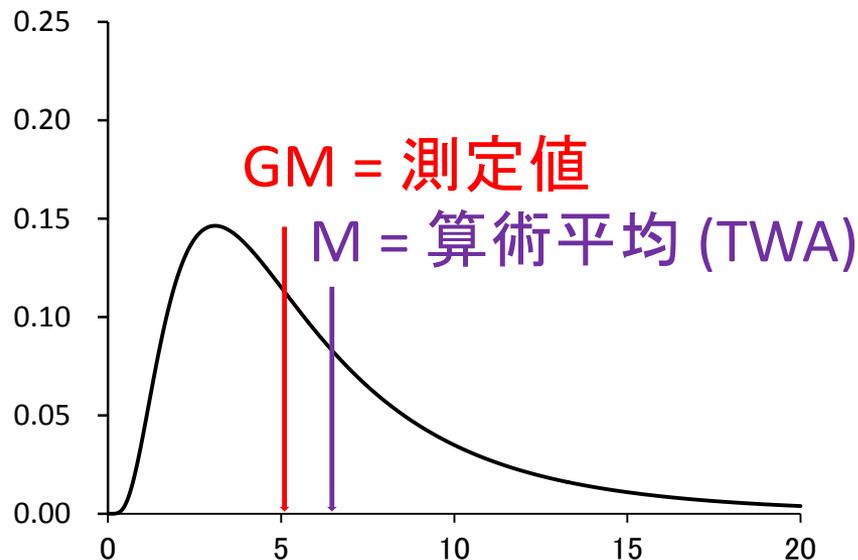
曝露濃度の日内変動を考慮することになる

# T 時間平均濃度の日内分布

T 時間平均濃度の測定値を幾何平均 GM と仮定する  
評価したい値は 8-hr TWA であり、それは算術平均 M である

$$\log M = \log GM + 1.151 (\log GSD)^2$$

GSDの値がわかれば、Mを算出できる



# 個人曝露濃度の日内変動の大きさ

作業員1人

1時間平均値

8時間の間に5個以上測定

幾何標準偏差  $GSD$  を算出

有機溶剤作業員117人

1人1人の幾何標準偏差を算出

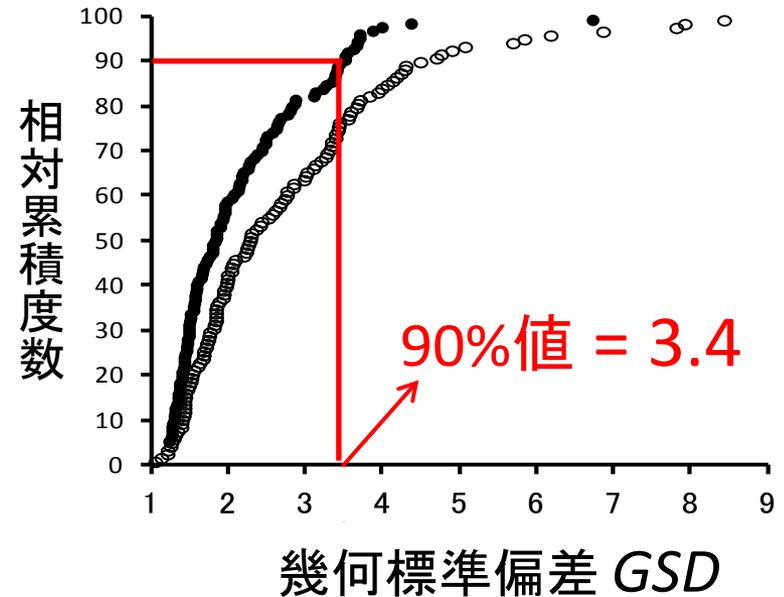
⇒ 117個の  $GSD$

サンプリング

60分間平均値



●: 60分間平均値



1-hr TWAの  $GSD = 3.4$   
と仮定する

1-hr TWAの  $GSD = 3.4$  と仮定する



2-hr TWAの  $GSD$  はどの程度？

4-hr TWAの  $GSD$  はどの程度？

平均化時間が長くなると  
 $GSD$  は小さくなる

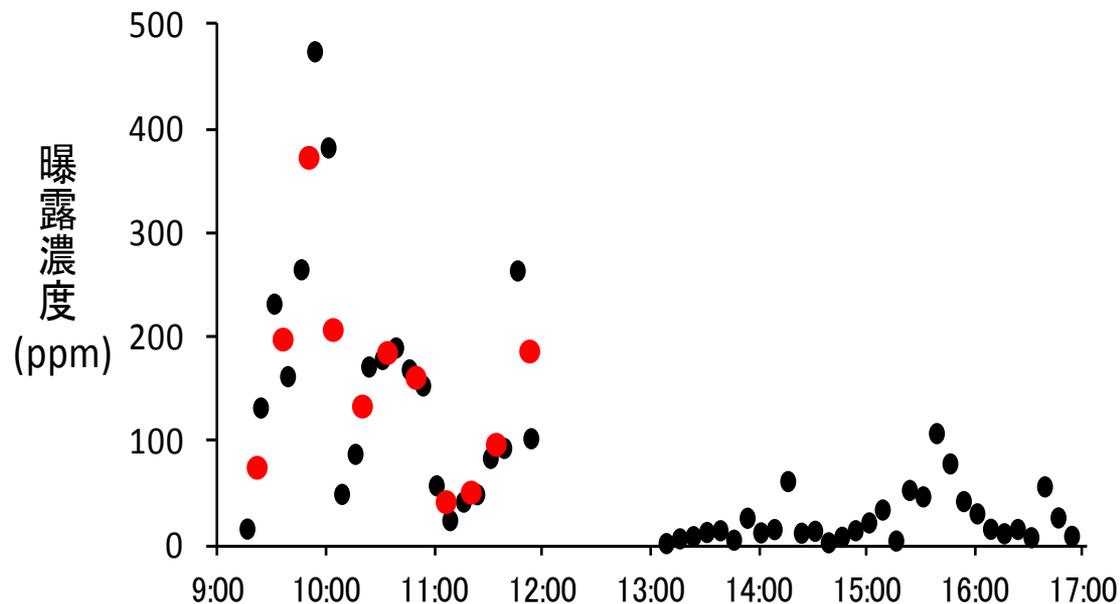


図3.5 洗浄作業者の1,1,1-トリクロロエタン曝露濃度  
7.5分間平均濃度の日内変動 (文献3-3より)

# Larsenの変換式による幾何標準偏差の推定

測定値 = GM と仮定

$$GSD(T_2) = 10^{(\log GSD(T_1) \sqrt{\frac{\log(8/T_2)}{\log(8/T_1)}})}$$

$T_1$  : 元の平均化時間

$T_2$  : 新しい平均化時間

$T_{tot}$  : 全観察時間 = 8時間

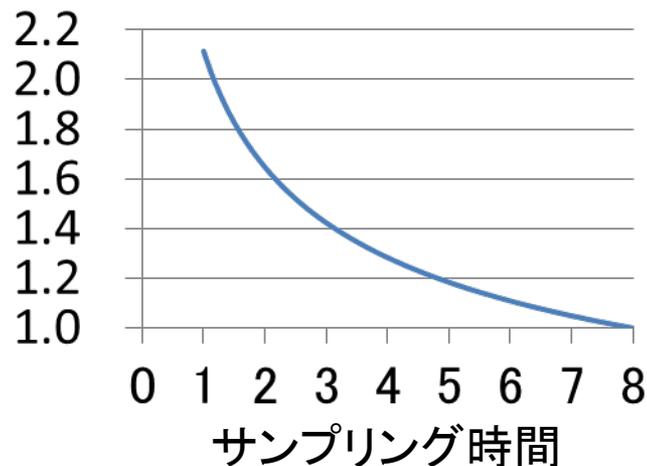
$GM(T_1)$  :  $T_1$ 時間平均濃度の幾何平均

$GSD(T_1)$  :  $T_1$ 時間平均濃度の幾何標準偏差



$GSD(T_2)$  :  $T_2$ 分間平均濃度の幾何標準偏差

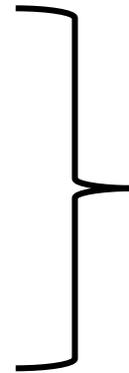
8 hr TWA  
測定値



サンプリング	係数
1-2時間	2.0倍
2-4時間	1.5倍
4-6時間	1.2倍

## 例えば、2時間サンプリングの場合

1 24 ppm ⇒ 48 ppm  
2 36 ppm ⇒ 72 ppm  
3 12 ppm ⇒ 24 ppm  
4 15 ppm ⇒ 30 ppm  
5 7 ppm ⇒ 14 ppm



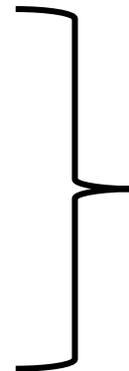
⇒ AM,  $X_{95}$

管理区分決定

サンプリング	係数
1-2時間	2.0倍
2-4時間	1.5倍
4-6時間	1.2倍

## 例えば、5時間サンプリングの場合

1 24 ppm ⇒ 29 ppm  
2 36 ppm ⇒ 43 ppm  
3 12 ppm ⇒ 14 ppm  
4 15 ppm ⇒ 18 ppm  
5 7 ppm ⇒ 8 ppm



⇒ AM,  $X_{95}$

管理区分決定

# 5. 日間変動の取り扱い

## 作業環境評価では

2日間測定 ⇒ 日間変動を算出する

$$\log \sigma = \sqrt{\frac{(\log \sigma_1)^2 + (\log \sigma_2)^2}{2} + \frac{(\log M_1 - \log M_2)^2}{2}}$$

1日測定 ⇒ 評価式に一定の数値(0.084)を使用する

$$\log \sigma = \sqrt{(\log \sigma_1)^2 + 0.084}$$

個人曝露評価ではどのように取り扱うか？

# 個人曝露評価における日間変動の取り扱い

SEG内の8時間平均濃度の変動要因は3種類ある  
サンプリングの仕方により、測定値に含まれる変動要因が異なる

## ケース1

SEG 10人のグループ

5人を選んで、ある日に測定

測定値に含まれる変動

作業者間変動 + 日間変動Ⅱ（個人起因）

## ケース2

SEG 10人のグループ

5人を選んで、1日目に3人、2日目に2人測定

測定値に含まれる変動

作業者間変動 + 日間変動Ⅰ（環境起因）

+ 日間変動Ⅱ（個人起因）

# 個人曝露評価における日間変動の取り扱い

## ケース3

SEG 10人のグループ

5人を選んで、全員を2日間測定

測定値に含まれる変動

作業者間変動 + 日間変動 I (環境起因)

+ 日間変動 II (個人起因)

サンプリングの仕方により変動要因が異なる

一定の数値による調整ができない



**単純な数値調整はしない**

## 測定値が5個以上の場合

$C_i$ : 測定値

幾何平均  $GM$

$$\log GM = \frac{\sum_{i=1}^n \log C_i}{n}$$

幾何標準偏差  $GSD$

$$\log GSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log C_i - \log GM)^2}{n - 1}}$$

算術平均  $AM$

$$AM = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$$

平均の通常  
の計算法を使う

95%値  $X_{95}$

$$\log X_{95} = \log GM + 1.645 \log GSD$$



SEGの管理区分の決定

## 測定値が5個未満の場合

算術平均  $AM = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$   $C_i$ : 測定値

95%値  $X_{95} = 3 AM$



## SEGの管理区分の決定

ただし、1日のみの測定を行った結果、  
測定値が許容濃度に近い場合は、  
別の日には許容濃度を超える可能性があるため、  
再測定をすることも選択肢となる

# 6. 管理区分

管理区分は6区分とする

	定義	判定
管理1A	$X_{95} < 0.1 \times OEL$	極めて良好
1B	$X_{95} < OEL$ かつ $AM < 0.1 \times OEL$	十分に良好
1C	$X_{95} < OEL$ かつ $0.1 \times OEL \leq AM$	良好
管理2A	$OEL \leq X_{95}$ かつ $AM \leq 0.5 \times OEL$	現状の対策の有効性を精査 更なるばく露低減に努める
2B	$OEL \leq X_{95}$ かつ $0.5 \times OEL < AM \leq OEL$	ばく露低減策を行う
管理3	$OEL < AM$	ばく露低減策を速やかに行う

改善努力義務

改善義務

# 管理区分2Bを「改善義務」とする理由

$$\text{「} OEL \leq X_{95} \text{」 and 「} 0.5 < \frac{AM}{OEL} \leq 1 \text{」}$$

SEGの曝露濃度がOELを超える割合は5～50%

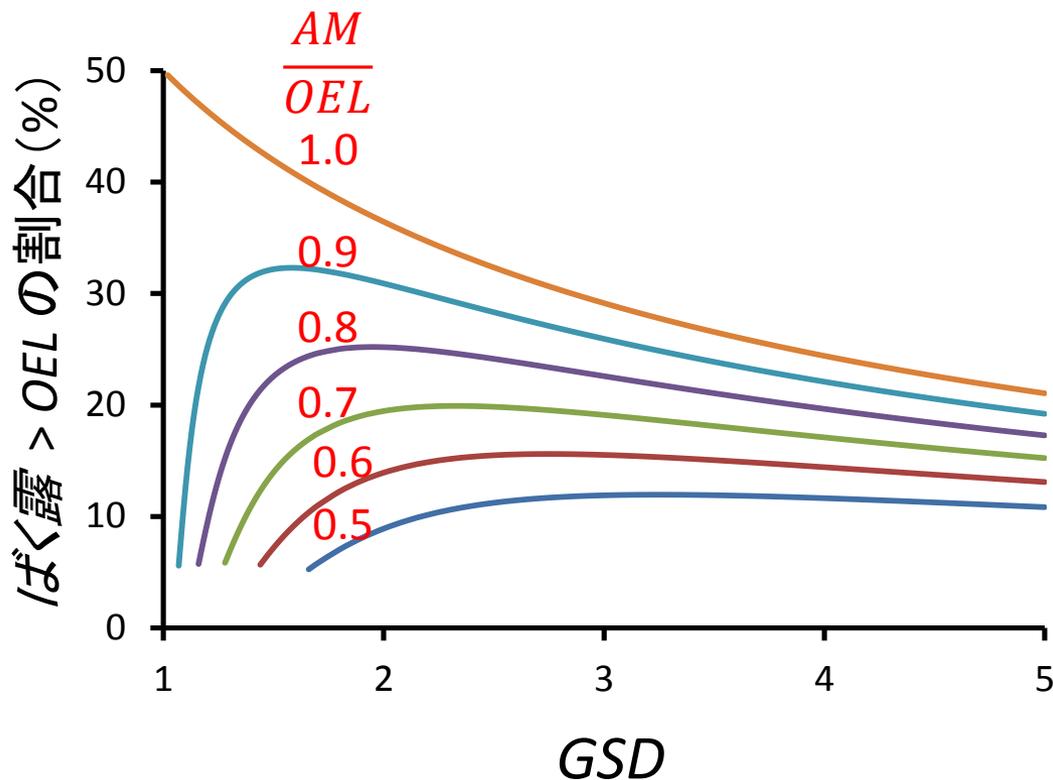
実際の産業現場

$GSD = 2 \sim 3$ 程度

SEGの曝露濃度がOELを超える割合は10～40%



曝露低減対策が必須



管理区分2Bにおいて

個人ばく露濃度がOELを超える割合

# 個人曝露評価に基づく対策

管理3  
管理2B → 改善義務

管理2A → 改善努力義務

## 対策の優先順

- ① 作業環境管理
- ② 作業管理
- ③ 個人保護具

優先順は作業環境評価の場合と同じ

## 7. 最後に

本ガイドラインでは、評価法を一律には規定していない

### 長所

I Hが自分の知識や経験を生かして、  
現場にもっとも適切な評価を行うことができる

### ただし

評価者および事業主の倫理感が重要

管理1と評価されても、健康被害が出た場合は、  
事業主の責任であることを法的に明確にする