合唱活動における飛沫実証実験 報告書

2020年12月8日

全日本合唱連盟・東京都合唱連盟

監修:加藤英明(横浜市立大学附属病院感染制御部長)

本実験の参加団体・協力団体

●主催:全日本合唱連盟・東京都合唱連盟

●監修:加藤英明氏(横浜市立大学附属病院感染制御部長)

●実験参加団体:東京都合唱連盟加盟8団体

◎ジュニア:コール・ジューン・ジュニア

◎高校生:豊島岡女子高等学校、早稲田大学高等学院、豊昭学園

◎大学生:早稲田大学グリークラブ

○一般A:北区民混声合唱団

○一般B:あい混声合唱団

◎シニア:世田谷区民合唱団

●実験協力:新日本空調ビジュアルソリューション事業部 様

●ご協力:

本実験の趣旨にご賛同いただき、下記の皆さまからご寄付をいただきました。心より感謝申しあげます。

株式会社コーラス・カンパニー 様

JCDA日本合唱指揮者協会 様

声楽アンサンブルコンテスト全国大会実行委員会 様

21世紀の合唱を考える会 合唱人集団「音楽樹」様

ブレーン株式会社 様

実験の設計

1. 人選

- ・東京都合唱連盟加盟団体に協力を依頼した。
- ・学齢、年代や男女を網羅し、様々な形態で活動する 合唱団の多くに有用なデータを得られるように留意し た。

2. 選曲および歌唱部分

- ・一般的な合唱曲の代表として「大地讃頌」を用いた。
- ・音量による差異を確認するためppからffまでの全て を含むことを条件とした。
- ・クリーンルームの持続可能時間とも照らし合わせ、 曲の最終部14小節 (ppの"ははなる"から) を歌唱した。

3. 比較

- ・歌唱と会話の差異を確認するため、同一詩の歌唱と朗読とを比較した。
- ・子音で多くの飛沫が発生することを確認するため、 同一部分の母音唱の可視化を行った。
- ・日本語以外の原語と比較するため、日本で多く歌われる「第九」のドイツ語歌唱を行った。(練習番号M繰り返しあり)

4. 実験参加者の属性

1	ジュニア	ソプラノ	11)	一般 A	テノール
2	ジュニア	アルト	12)	一般 A	ベース
3	高校生	ソプラノ	(13)	一般 B	ソプラノ
4	高校生	アルト	14)	一般 B	アルト
(5)	高校生	テノール	(15)	一般 B	テノール
6	高校生	ベース	16	一般 B	ベース
7	大学生	テノール	17)	シニア	ソプラノ
8	大学生	ベース	18	シニア	アルト
9	一般 A	ソプラノ	19	シニア	テノール
10	一般 A	アルト	20	シニア	ベース

5. 参加者と実験内容

曲目	原語・形態	内容	1	2	3	4	(5)	6	7	8	9	10	11)	12	13	14)	15)	16	17)	18	19	20
大地讃頌	日本語	可視化(距離)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
大地讃頌	日本語	カウント(距離)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
大地讃頌	母音唱	可視化(距離)									•	•	•	•	- 			-	r – I			l – I
第九	ドイツ語	可視化(距離)		i							•	•	•	•	I	 	 	•	l	 	 !	г I
大地讃頌	母音唱	可視化(距離)													•	•	•	•				i
大地讃頌	朗読	可視化(距離)		_					_	 				- 	•	•	•	•	i — - I	, — . !	- !	i
大地讃頌	日本語	可視化(広がり)						- 1		 	!		-	<u> </u>	•	•	•	•	i -	-		
五十音	日本語	カウント(口元)		-						 	 !	 	 	 !	•	•	•	•	i !			
大地讃頌	日本語	レーザー (床上1m)	_			_	_	- 			. – !	_			•	•	•	•	<u>. </u>			. – !
大地讃頌	布マスク	可視化(距離)	_				_		_						 !			•		 		! !
大地讃頌	ポリエステルマスク	可視化(距離)	_							-					- I			•	r – I	 		l – I
大地讃頌	不織布マスク	可視化(距離)								-				-	Г — !			•	Γ [—] !			l – I
大地讃頌	下部開放型マスク	可視化(距離)							_	Г ⁻ ! !								•		!		г — I
大地讃頌	マウスシールド	可視化(距離)			_			- 1	_	 				- -	ı	- 1	-	•	i i			i
第九	ドイツ語	可視化(距離)		-	-			-		 		, — ·	г — I	<u> </u>		-	Г — 	•	. – - i	, — · !	[
第九	下部開放型マスク	可視化(距離)								 	 	 		 	 		Г - Т	•	l I			
第九	マウスシールド	可視化(距離)																•				

使用機材、実験概要

1. 目的

新型コロナウイルス感染症対策について、歌唱を行った際に発生する飛沫につ いて微粒子可視化システムなどを用いて検証する。

2. 現場

新日本空調株式会社 本社8階 可視化専用実験室(クリーンルーム)

3. 現場スケジュール

8月23日(日) 9:30~10:30 機材搬入・準備・打合せ

10:30~17:00 微粒子可視化調査(試演)

17:00~17:30 片付け・撤収

4. 作業者

新日本空調 ビジュアルソリューション事業部 岡本様、高橋様

5. 使用設備

照明:微粒子可視化専用LED光源「パラレルアイD」

カメラ:微粒子可視化専用高感度カメラ「アイスコープ」

画像処理:基本画像処理パッケージソフトウエア

粒子計数:ポータブル微粒子可視化システム「Type-S」

そのほか:三脚などの撮影補助機材

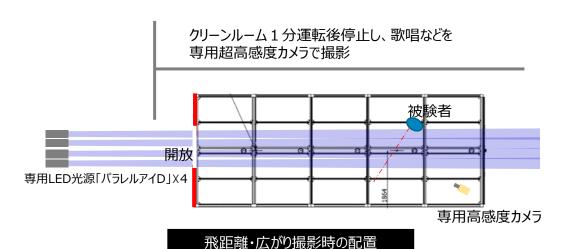
※ 機材については新日本空調様で調整いただいた。

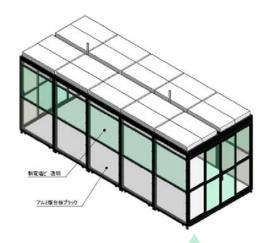






クリーンルームの概要、機材配置と試験手順

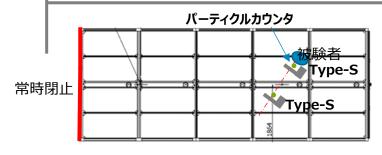




① 歌唱時: クリーンルーム 1 分運転後停止

② 50音: クリーンルームを終始運転し、

Type-S並びにパーティクルカウンタで計数



飛距離・広がり撮影時の配置

クリーンルーム 1 分運転後停止し、歌唱などを 専用超高感度カメラで撮影



床上1m撮影時の配置

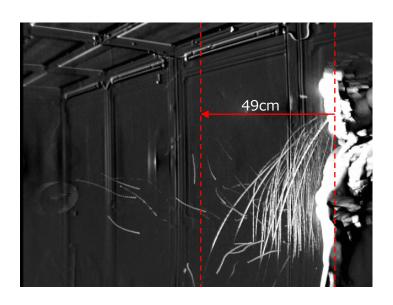
(3) 統計解析方法

微粒子可視化システムType-Dによりクリーンルームを運転後、一旦停止し清浄な状態を維持し、静穏な状態で、目の保護具を着用し暗譜で歌唱。

(1) 飛距離:歌唱中で最も飛距離の長いもの

(2) 飛沫量: 歌唱中の累計値

を用いた。





母なる大地を 母なる大地を 讃えよ 褒めよ 讃えよ土を 母なる大地を ああ 讃えよ大地を ああ

1

2

3

(4)

この歌唱者の場合、③で最大の飛距離があった → 飛距離49cmとして計算

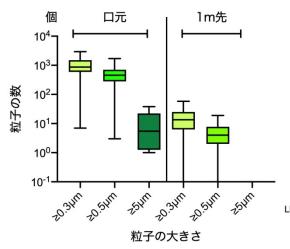
2. 結果

日本語歌唱での飛沫の飛散距離

大地讃頌の歌唱(20人)による飛沫の飛散を測定。

- ・口元では0.3µm以下、0.5µm以下の粒子が 多く観測された。 (それぞれ平均 866個、460個)
- ・飛沫感染の対策が必要と考えられる5µm以上の大きさの 粒子は口元では平均5.5個であった。
- ・正面1m先では、0.3µm以下の粒子は平均13.5個、 0.5µm以下の粒子は平均4個検出された。
- ・正面1m先では5µm以上の粒子は観測されなかった。

日本語歌唱で生じた飛沫粒子と飛距離



口元での粒子の量

≥0.3µm: 866個 (最大 2950個) ≥0.5µm: 460個(最大 1700個) ≥5µm: 5.5個(最大37個)

1m先での粒子の量

≥0.3µm: 13.5個(最大58個) ≥0.5µm: 4個(最大19個) ≥5µm:0個(最大0個)

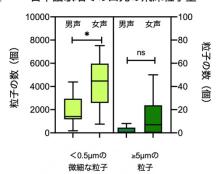
LED光源「パラレルアイD」高感度カメラ「アイスコープ」を使用

日本語歌唱での口元の微細な粒子量

大地讃頌の歌唱(20人)による口元の微細な粒子の量を測定。

- ・女性では男性よりも0.5µm以下の粒子が多く観測された。
- ・5µm以上の粒子の数も女性が多い傾向にあった。
- パートごとには明確な差はみられなかった。

日本語歌唱での口元の飛沫粒子量



微細(<0.5µm)な粒子

男声: 平均 1400個 (最大 4390個) 女声: 平均 4470個 (最大 7530個)

* 統計学的有意差あり

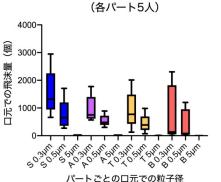
≥0.5µmの粒子

男声: 平均 0.5個 (最大 8個) 女声: 平均 7.0個 (最大 50個)

ns: 統計学的有意差なし

ポータブル微粒子可視化システム「Type-S」 を使用

パートごとでの口元で計測される飛沫粒子の数



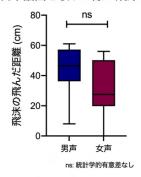
パーティクルカウンター AeroTrack APC 9303-01を使用

結果(3) 男女別、パート別の飛沫(画像化できるもの)の飛距離

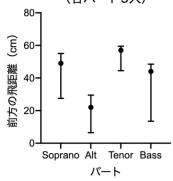
大地讃頌の歌唱(20人)による 口元からの粒子の飛距離を可視化。

- ・容易に可視化できる粒子は少なくとも5µm 以上の大きさがあり、放物線状に落下した。
- ・男声の方が可視化できる粒子の飛距離は 長い傾向があった。
- ・パートごとの飛距離の差は明確ではない。

日本語曲を歌った際の飛沫の距離



男性:46.5cm [36-57] (最大61cm) 女性:27.5cm [20-50] (最大56cm) 日本語歌唱でのパート別の飛沫飛距離 (各パート5人)



LED光源「パラレルアイD」高感度カメラ「アイスコープ」を使用

LED光源「パラレルアイD」高感度カメラ「アイスコープ」を使用

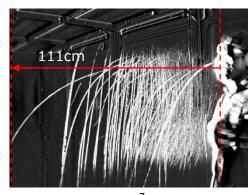
結果(4) 第九(ドイツ語)の歌唱、大地讃頌(日本語)の歌唱 および母音唱、大地讃頌(日本語)の朗読での飛沫飛距離の違い

一般合唱団AとBが、第九(ドイツ語)、大地讃頌(日本語)の歌唱および朗読、 大地讃頌の母音唱をした際の、口元からの粒子の飛距離を可視化。

- ・第九(ドイツ語)は統計学的に有意に飛沫の飛距離が長かった。
- ・朗読と歌唱の飛距離に有意な違いはなかった。(朗読だけでも飛沫は飛ぶ)
- ・母音唱は可視化できる粒子の飛散がほとんどみとめられなかった。

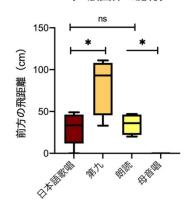


大地讃頌(日本語)歌唱時



第九(ドイツ語)歌唱時

ドイツ語・朗読・母音唱での飛沫飛距離の違い (一般団体で施行)



* 統計学的有意差あり ns: 統計学的有意差なし

LED光源「パラレルアイD」高感度カメラ「アイスコープ」を使用

結果(5) マスクによる飛沫飛散距離の違い

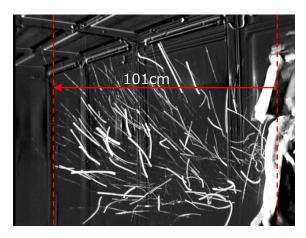
一般合唱団Bの1名が各種マスクを着用し、大地讃頌(日本語)と第 九(ドイツ語)を歌唱した際の、口元からの粒子の飛距離を可視化。

- ●使用した各種マスク(5種)不織布マスク、布マスク、ポリエステルマスクマウスシールド、下部の開放の広いマスク
- ・全てのマスクで大地讃頌(日本語)歌唱また第九(ドイツ語)歌唱ともに、 前方への飛散は観測されなかった。
- ・マウスシールドでは直線的な動きの飛沫はほとんど観測されなかったが、口周辺の微細な 粒子が多く観測された。
- ・下部の開放の広いマスクでは、マスク下方から飛沫が下部へ飛散する様子が観測された。
- ・下部の開放の広いマスクでは、第九(ドイツ語)歌唱時に、マスク下方から浮遊物*3 が 気流とともに前方101cmまで拡散する様子が観測された。
- *3 これは放物線を描いて落下する飛沫とは動きが異なり、「唾液から発生したエアロゾル」「服の埃」などを観測した可能性がある。同様のものはマスク非着用時には検出されなかったため、下部の開放の広いマスクの装着によって発生した可能性がある。









下部の開放の広いマスク着用時の第九(ドイツ語)歌唱



マウスシールド着用時の第九(ドイツ語)歌唱

結果(6) 横方向への飛沫拡散の観測

一般合唱団Bの4名が大地讃頌を歌唱した際の、口元横方向の飛 沫を可視化。

・4人とも粒子は観測されなかった。

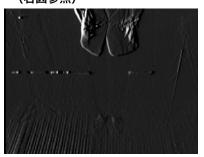




※専用LED光源「パラレルアイD」と高感度カメラ「アイスコープ」を使用

床上1mの水平面に光源を照射し、一般合唱団Bの4名が大地讃頌 を歌唱した際の、飛沫の水平的な広がりを可視化。

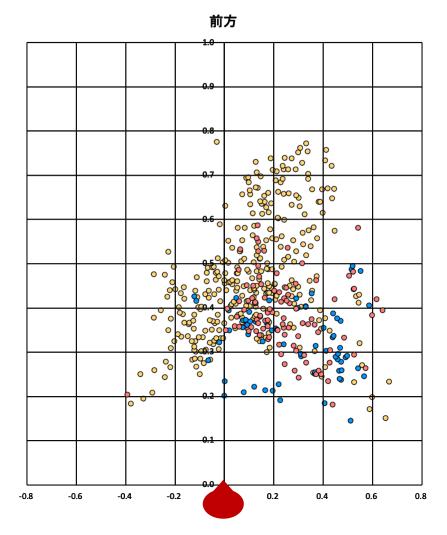
・歌唱者から、前方80cm、左右70cmまで可視化された微粒子が観測された。 (右図参照)





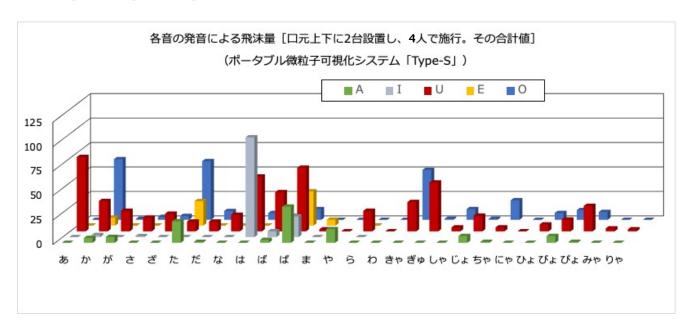
※レーザ光源「パラレルアイH」と高感度カメラ「アイスコープ」を使用

※ 4名中1名は優位な観測輝点がなかった。



結果(7) 日本語50音各音の飛沫量の測定。

- 一般合唱団Bの4名が日本語50音を発音した際の、飛沫量を測定。
- ・有意な計数値が見られたのは「か行」「さ行」「た行」「は行」「ら行」「ぱ行」 「だ行」「ぎゃ行」「ぴゃ行」で、明確な飛沫の発生が見られた。



3. まとめと考察

(1)飛沫感染の対策について

- ※およそ5µm以上の大きさの粒子は、放物線を描いて落下する。
- ・日本語歌唱では、男性で前方平均46.5cm(最大61cm)、女性で26.5cm(最大57cm)まで飛ぶことが観測された。
- ・女性よりも男性で遠方まで飛ぶ傾向にあった。
- ・前方1mでは観測されなかった。
- ・母音唱では可視化できる粒子は観測されなかった。
- ・朗読では、歌唱と同様に飛沫の飛距離が観測された。
- ・右斜め前方15°の方向にも70cm程度の距離まで観測された。
- ・ドイツ語歌唱では飛沫がより遠方(最大111cm)まで観測された。
- ・子音によって飛沫の発生に差がでる。

(2)エアロゾル感染の対策について

- ※「飛沫」よりも小さい、1µm 程度よりも小さい粒子は空中をある程度の時間を浮遊すると考えられる。
- ※「エアロゾル」とは分野によって定義が異なっているが、日本エアロゾル学会では、気体中に浮遊する微少な液体または個体の粒子と周囲の気体の混合体をエアロゾルと定義している。
- ・飛沫と比較し、口元でもかなりの数(1000個以上)が観測された。
- ・距離とともに漸減するが、前方1mの距離でも数個~数十個が観測された。
- ・女性は男性と比較して0.5µm以下の粒子量が多かった。

(3)マスクを着用しての歌唱について

- ・通常のマスク(不織布、布、ポリエステルのいずれも)は可視化される飛沫が顕著に減少した。
- ・下部の開放が広いマスクは、下方から飛沫が飛散する様子が観測された。
- ・マウスシールドは飛散する飛沫は減少するが、直接観察では微細な粒子が画面上で確認された。

(4)考察

- ・どの大きさの飛沫粒子が感染性を持つか、まだ明確ではないが、感染対策では「飛沫感染」の対策が最も重要と考えられており、 容易に可視化されるような5um以上の飛沫の直接曝露は 避けるべきである。
- ・日本語で1m、ドイツ語で1.5mの距離を発声方向に確保すべきと考える。
- ・練習中に左右を向くことや、舞台演出が入ることによる、発声方向には注意が必要である。
- ・距離が取れないような練習では母音唱は選択肢である。
- ・歌唱時同様、朗読時も距離を取るべきである。
- ・エアロゾル感染対策では、距離を空けることよりも室内の換気が重要である。
- ・窓の開閉、ドアの数、機械換気などの換気条件は練習場所、ホールごとに異なるので、少なくとも、密室、密閉と考えられる環境 での練習はすべきではない。

11