



兒童語音自動評估： 計算模型與聽感標註

2022/1/15

中央研究院語言學研究所

曾淑娟

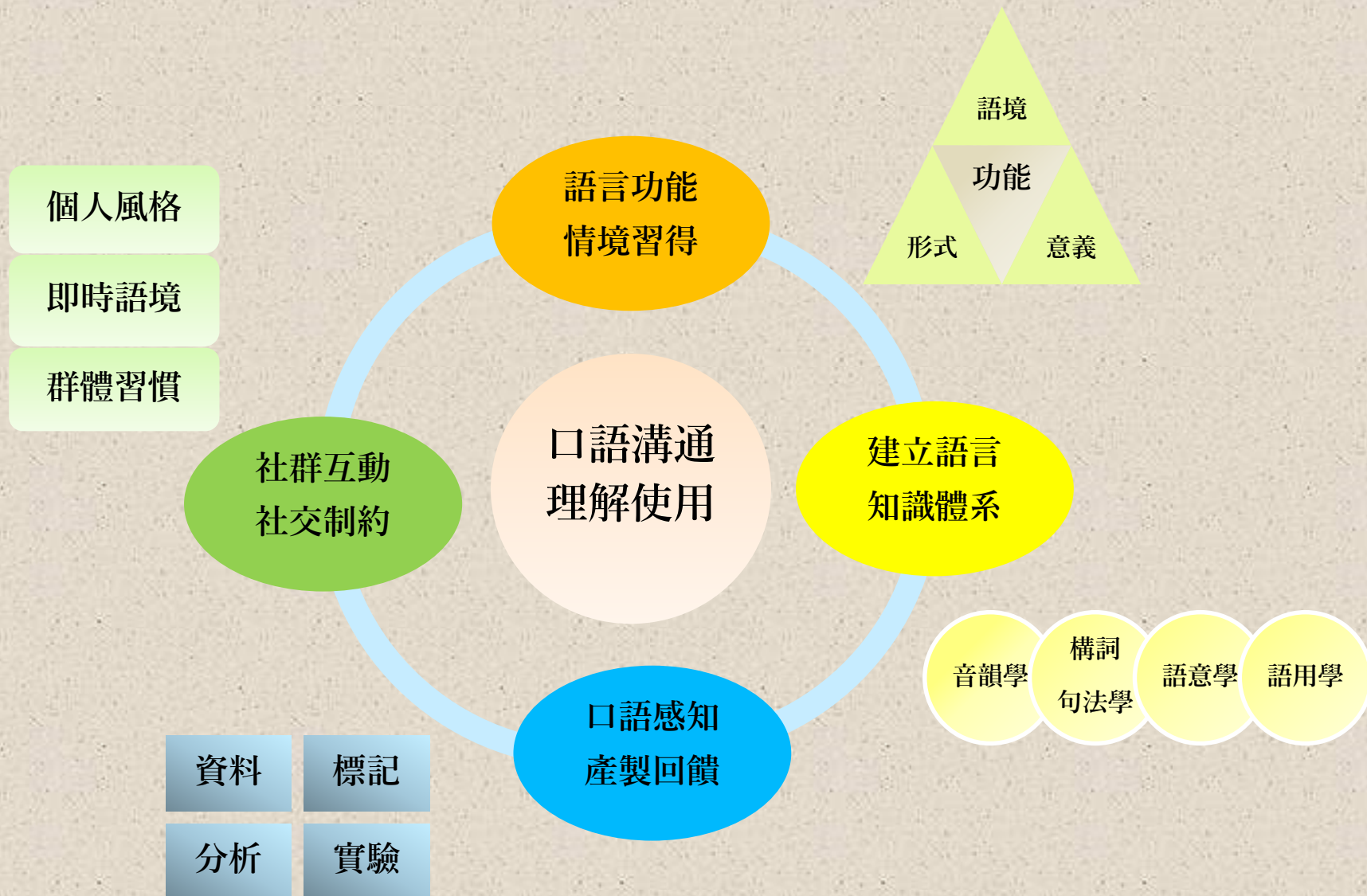
- 兒童語音習得
- 中研院語言所學齡前兒童語音習得資料收集與標註計畫
- 兒童語音變異計算模型
 - ✿ 雙字詞語音弱化
 - ✿ 聲調變異
 - ✿ 元音聲學特徵變異
 - ✿ 深度學習模型
- 中研院語言所語音習得常模數據（目前進度）
- 線上錄音與錯誤類型比對系統

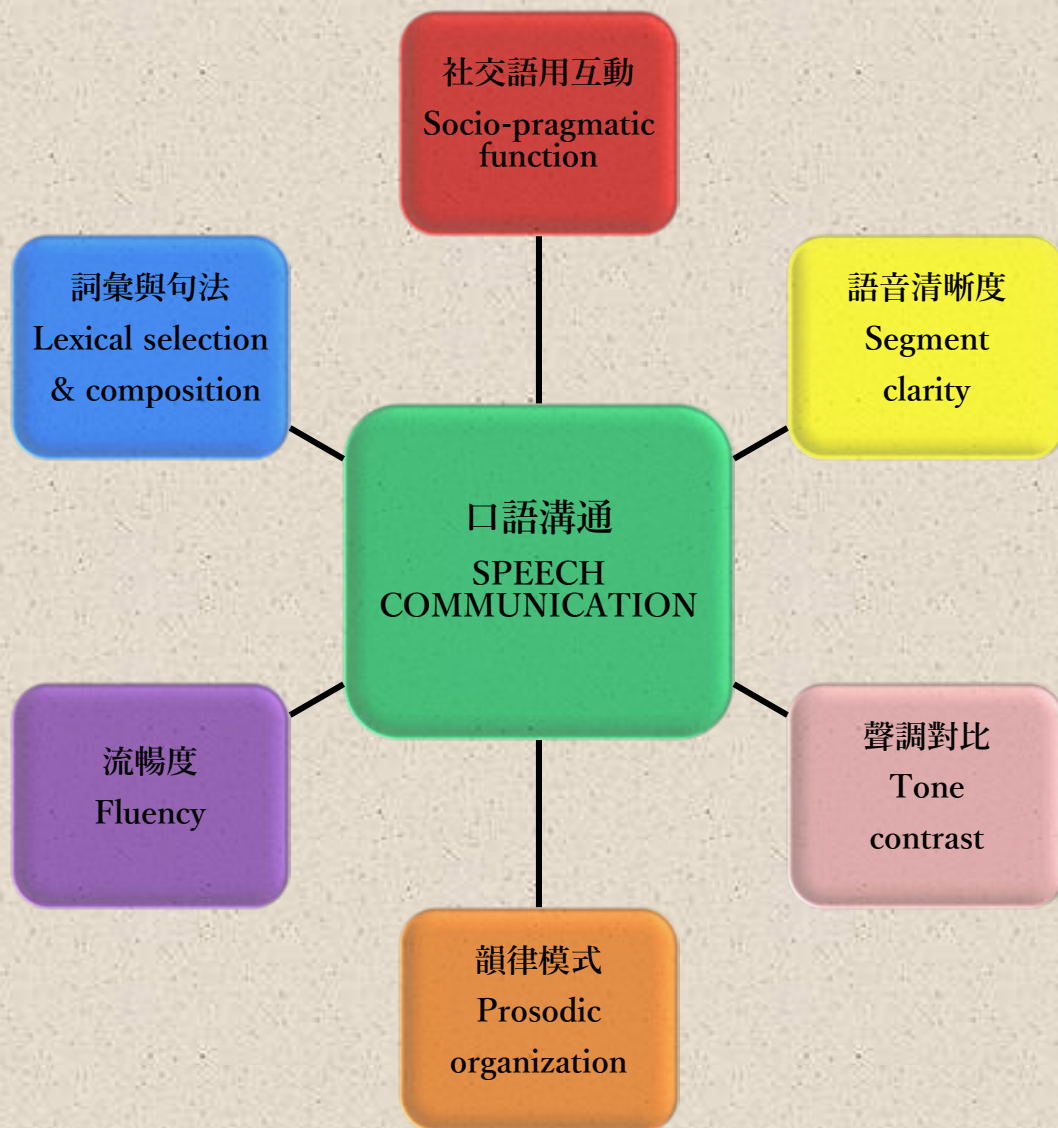


兒童語音習得

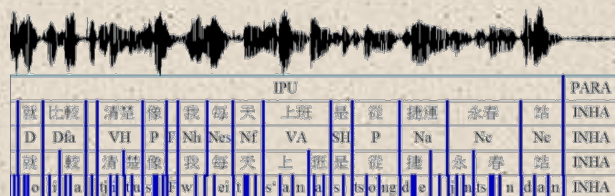
- ❑ McLeod & Verdon (2014) 整理共30份兒童語音評估工具，僅有So & Jing (2000) 出版於南京師範大學出版社為中文兒童語音習得研究（檢附600名孩童語音習得常模）。
- ❑ 中文兒童構音與音韻發展研究以聲母、鼻音韻尾、元音與聲調等音韻單位的習得為主（Chang & Chung 1986; Cheung & Hsu 2000; Cho 2008; Hua & Dodd 2000; Han *et al.* 2010; Jeng 2016; Jeng 2011; Li & Thompson; 1977; Lin & Lin 1994; Yeh *et al.* 2015; Wang *et al.* 2010 ; Wang *et al.* 1984）。
- ❑ 聲調的習得年齡較音段為早（Hua & Dodd 2000; To *et al.* 2013）。
- ❑ Li & Thompson (1977) 的結論是台灣華語母語兒童習得「一、四聲」早於「二、三聲」。
- ❑ Lin & Lin (1994) 報導台灣華語兒童三歲時便已習得所有聲調。三至六歲孩童，聲調正確率皆在99%以上。To *et al.* (2013) 報導香港粵語母語兒童在兩到三歲時已完成聲調習得。
- ❑ 兒童音段習得報導多以輔音、元音與韻尾的聽感正確率為依據；報導各年齡層的音段正確率或是以設定的通過門檻作為區分習得的標準（Hua & Dodd 2000）。

- Lin & Lin (1994) 以1992年就讀幼兒園資料抽樣台灣北、中、南、東、臺北市與高雄市等六區，共839名有效樣本之報導人數最多，兼具地區平衡。
 - ✿ 台灣華語母語兒童的音段習得以90%為通過標準。三歲兒童習得的聲母包含p^h m n l k k^h x tɕ tɕ^h、四歲ɕ ts、四歲半t^h ts^h、五歲ɕ、五歲半f tɕ^h ʐ s及六歲tɕ。
 - ✿ 韻母部分除了y在三歲半通過以外，其餘韻母皆於三歲以前就已通過。
- Hua & Dodd (2000) 以在北京五個幼兒園收集的一歲六個月到四歲六個月孩童，有效樣本129名報導聲母習得歷程。韻母部分沒有個別元音的正確率，以三元音弱化、雙元音弱化、元音取代與元音同化四類錯誤類型報導。
- 對比台灣華語與北京普通話，北京普通話兒童於三歲前習得擦音f，而台灣華語兒童則要到五歲半。ɕ也類似，北京普通話兒童習得較台灣華語兒童早。塞擦音tɕ與tɕ^h則是台灣華語兒童習得較早，三歲就能習得。其餘聲母習得的進程在以上兩個中文母語兒童的研究報導中並沒有明顯差異。
- To *et al.* (2013) 報導1726名香港粵語母語兒童的音段習得研究。f在四歲前已經習得，與北京普通話兒童類似；塞擦音的習得年齡則與台灣華語兒童類似。

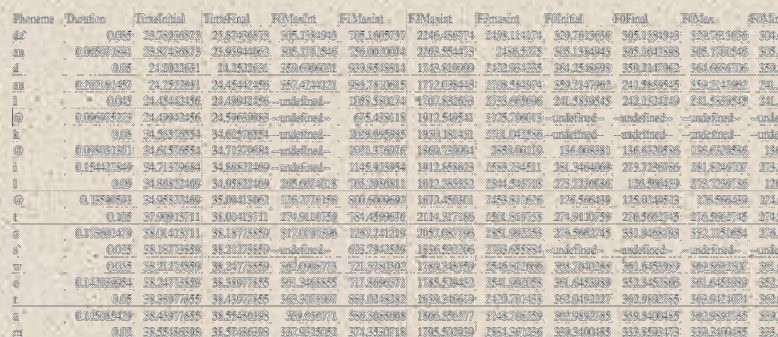
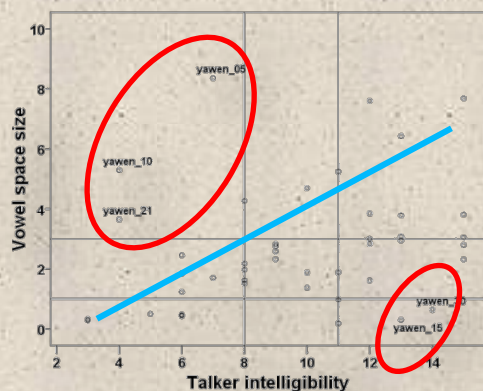




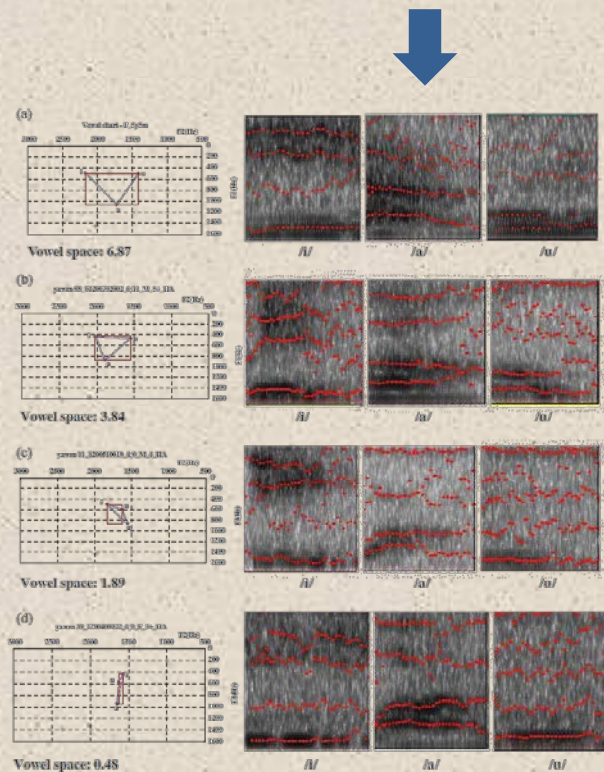
文字訊號對齊的標記語料



比較聽感判斷口語清晰度與 聲學特徵的關連性



抽取
F1/F2



指標：元音空間

以角落元音 /i a u/ 之 F1/F2平均計算

詞類標記

CKIP	UD	CKIP	UD	CKIP	UD	CKIP	UD
<i>A</i>	ADJ	<i>Neu</i>	NUM	<i>DE</i>	PART	<i>VF</i>	VERB
<i>D</i>	ADV	<i>FW</i>	X	<i>I</i>	INTJ	<i>VG</i>	VERB
<i>Da</i>	ADV	<i>Nf</i>	PART	<i>T</i>	PART	<i>VHC</i>	VERB
<i>Dfa</i>	ADV	<i>Na</i>	NOUN	<i>VA</i>	VERB	<i>VJ</i>	VERB
<i>Dfb</i>	ADV	<i>Nb</i>	PNOUN	<i>VB</i>	VERB	<i>VK</i>	VERB
<i>Dk</i>	ADV	<i>Nc</i>	LNOUN	<i>VH</i>	VERB	<i>VL</i>	VERB
<i>Di</i>	ADV	<i>Ncd</i>	NOUN	<i>VI</i>	VERB	<i>V 2</i>	VERB
<i>Caa</i>	CONJ	<i>Nd</i>	NOUN	<i>S</i>	X	FILLER	X
<i>Cbb</i>	CONJ	<i>Nh</i>	PRON	<i>SHI</i>	VERB	MARKER	X
<i>Nep</i>	DET	<i>P</i>	ADP	<i>VAC</i>	VERB		
<i>Nega</i>	DET	<i>Cab</i>	ADP	<i>VC</i>	VERB		
<i>Nes</i>	DET	<i>Cba</i>	ADP	<i>VCL</i>	VERB		
		<i>Neqb</i>	ADP	<i>VD</i>	VERB		
		<i>Ng</i>	ADP	<i>VE</i>	VERB		



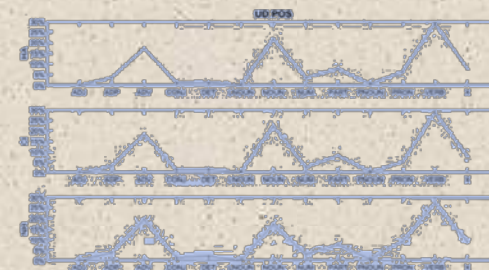
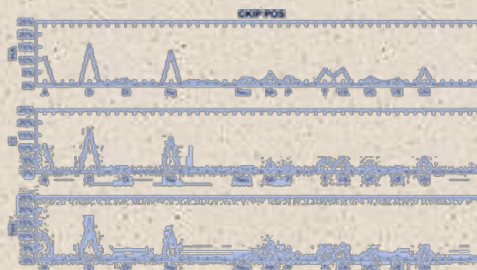
	聽損兒童	聽常兒童
語者	30 助聽器 (輕度~極重度) 15 CI (重度~極重度) 年齡: 3;3~12;5 (中位數 5;9)	79 年齡: 2;11~6;3 (中位數: 4;11)
錄音	2008	2009
標註	IPU/詞語/音節/音段	IPU/詞語/音節/音段



說故事語料收集及轉寫



詞類使用比較



	<i>e</i>	<i>ei</i>	<i>en</i>	<i>mlhm</i>	<i>nlhn</i>	<i>mlhmm</i>	<i>uhm</i>	<i>uhmm</i>	<i>uhn</i>	others	Total
HA	6	4	2	7	4		6	1	4		34
CI	4	4	1		1		9		3		22
NH	6	4	2	147		35	2	2	13	3	214

填充詞使用比較



10

shi	尸	35225	shi4	尸ˋ	27634	的	15778	就是	5260	一 二 三 四 輕 聲 聲 聲 聲 聲 105168 96586 129505 228182 47559 272 220 250 301 31	啊	9737
de	ㄉㄛ	22242	de5	ㄉㄛˋ	21398	我	13999	然後	4473		喔/哦	4295
yi	一	19404	wo3	ㄨㄛˇ	17492	是	13397	因為	3435		啦	2367
wo	ㄨㄛ	17532	jiu4	ㄐㄧㄡˋ	13865	你	7429	我們	3412		HON	2294
you	ㄧㄡ	15403	dui4	ㄉㄨㄟˋ	13478	就	7092	覺得	2932		欸	2083
jiu	ㄐㄧㄡ	14424	you3	ㄧㄡˇ	13266	有	6991	所以	2276		HEIN	1785
dui	ㄉㄨㄟ	13558	ta1	ㄊㄚ	11088	對	6705	他們	2088		嘛	1663
bu	ㄅㄨ	12287	ni3	ㄋㄧˇ	9814	不	6677	現在	1976		HEN	1583
ta	ㄊㄚ	11129	bu4	ㄅㄨˋ	9529	個	6330	可是	1926		呵	1281
ni	ㄋㄧ	9883	hou4	ㄏㄡˋ	8639	他	5453	時候	1907		呀	1087

平衡詞表



中研院語言所兒童語音收集計畫



DATA COLLECTION

- 線上錄音系統
- 資料管理系統

資料收集

NORMATIVE DATABASE

- 口語詞彙聽感標記
- 兒童語音聲學分析

常模數據

MACHINE LEARNING

- 多層次口語清晰度評估
- 詞彙理解與聲調變異

機器學習

ONLINE SCREENING

線上評估

- 自動語音評估技術
- 線上診斷管理系統

EDUCATIONAL PROGRAM

科技輔助教學

- 依評估結果精準選取教學語料
- 視覺化計算模型加強輔助教學

Assessing Speech

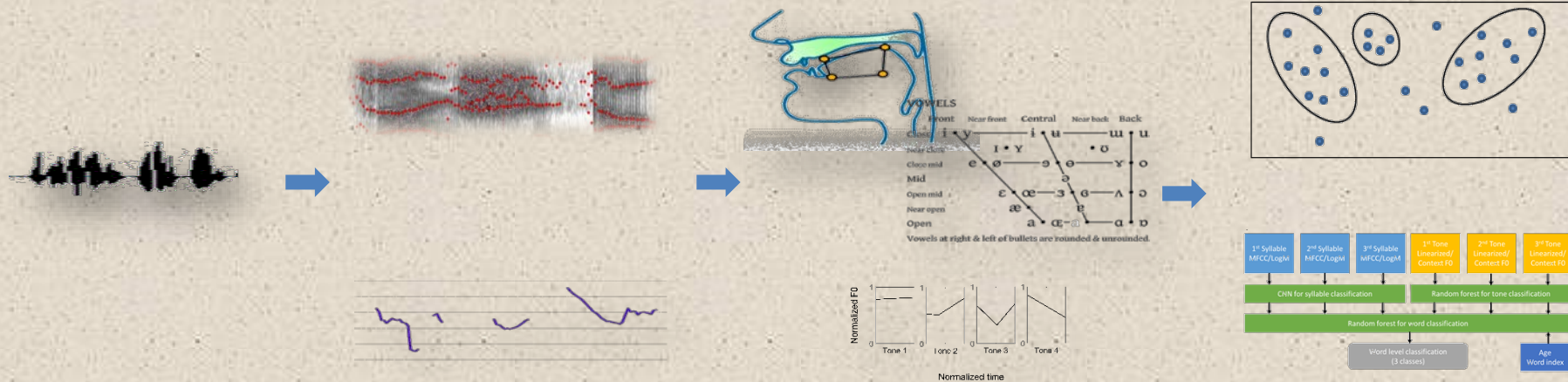
- ❖ 線上錄音
- ❖ 學習歷程管理
- ❖ 音韻特徵對比分析

- ❖ 早期、快速篩檢語音問題
- ❖ 詳盡、確實語音習得評估

- ❖ 語音習得：
研究資料收集與分析
- ❖ 機器學習：
建置深度學習模型

- ❖ 智慧科技輔助診斷
- ❖ 計算模型整合
- ❖ 視覺化與自動評分

- ❖ 語音習得常模多面向數據
- ❖ 監督式學習模型訓練與測試



原始聲學訊號

特徵抽取

範疇化/視覺化

分類/評分

中研院語言所兒童語音習得計畫流程

14

Preparation: IRB, subject selection criteria, consensus form, equipment, instruction

Hearing screening: GSI 18 Screening Audiometer

Recording: Balanced word list, picture naming

Personal info.
Demographic data, language ability, social factor

Automatic phone alignment
(Post-editing, re-alignment)

Phonological transcription
(Pronunciation errors)

Signal-aligned data with phonemic transcription

Acoustic-phonetic analysis of children's speech production: Formant analysis, tone variation

- Speech recording (Sound Data)
- Personal data maintenance (Subject Data)
- Annotation interface (Transcription Data)
- Acquisition data and error analysis (Evaluation Data)

AUTOMATIC

REFERENCES

INTERFACE



NORMATIVE DATABASE

APPLICATIONS

- On-line screening system for early detection of severe articulation problems
- Automated tool for speech therapists to collect and diagnose articulation problems
- Innovative spoken language assessment system

DEEP LEARNING MODELS

- ❑ 以Tseng *et al.* (2011) 18語句集為基礎。該詞表用於2009年執行學前兒童語音收集計畫，無任何對於詞彙不熟悉之反應。
- ❑ 參考既有中文兒童詞表
 - ✿ 中研院中文口語詞頻表 (2013)
 - ✿ 兒童華語語音綜合測驗 (2013)
 - ✿ 華語構音/音韻臨床測驗工具 (2006)
 - ✿ 國語正音檢核表 (2004)
 - ✿ 構音教學活動彙編 (2000)
 - ✿ 學齡前兒童國語語音閾語詞 (1999)
- ❑ 詞表制訂原則
 - ✿ 覆蓋不同詞彙類型：動物、食物、交通工具、身體部位、動作、遊戲、地點、自然現象
 - ✿ 覆蓋所有音節結構（參考中研院音節結構組合表）
 - ✿ 覆蓋雙字詞所有聲調組合（除輕聲以外）
 - ✿ 所有聲母至少出現於雙字詞的第一與第二音節一次
 - ✿ 空韻 vs. 非空韻（特定聲母，「時」鐘 vs. 「說」話）
 - ✿ 特定聲母搭配帶所有韻母的音節結構
 - ✿ 構詞結構類型（吃飯、寫字、游泳）
 - ✿ 雙字詞聲母前後對比之對照參照（蛋糕、關燈）
- ❑ 以此詞表為基礎，未來將擴充至語句與敘事等連續語音語料型態

中研院兒童語音平衡詞表

詞語	漢語拼音	國際音標	聲調	詞語	漢語拼音	國際音標	聲調
母雞	<i>muji</i>	/mu tci/	3 1	騎馬	<i>qima</i>	/tɕʰi ma/	2 3
蜜蜂	<i>mifeng</i>	/mi fəŋ/	4 1	走路	<i>zoulu</i>	/tsou lu/	3 4
恐龍	<i>konglong</i>	/kʰoŋ loŋ/	3 2	關燈	<i>guandeng</i>	/kwan tən/	1 1
老鷹	<i>laoying</i>	/lao iŋ/	3 1	掃地	<i>saodi</i>	/sao ti/	3 4
烏龜	<i>wugui</i>	/u kwei/	1 1	睡覺	<i>shuijiao</i>	/ʃwei tɕjao/	4 4
兔子	<i>tuzi</i>	/tʰu tsi/	4 5	買菜	<i>maicai</i>	/mai tsʰai/	3 4
老虎	<i>laohu</i>	/lao hu/	3 3	爬山	<i>pashan</i>	/pʰa ʃan/	2 1
螃蟹	<i>pangxie</i>	/pʰaŋ cje/	2 4	穿衣服	<i>chuanyifu</i>	/tɕʰwan i fu/	1 1 2
蜘蛛	<i>zhizhu</i>	/tʃu tʃu/	1 1	電視	<i>dianshi</i>	/tjen ʃu/	4 4
天鵝	<i>tiane</i>	/tʰjen ə/	1 2	輪胎	<i>luntai</i>	/lun tʰai/	2 1
刺蝟	<i>ciwei</i>	/tsʰi wei/	4 4	窗戶	<i>chuanghu</i>	/tɕʰwan hu/	1 4
醜小鴨	<i>chouxiaoya</i>	/tɕʰou ciao ja/	3 3 1	吸管	<i>xiguan</i>	/ci kwan/	1 3
熱狗	<i>regou</i>	/zə kou/	4 3	時鐘	<i>shizhong</i>	/ʃu tʃoŋ/	2 1
饅頭	<i>mantou</i>	/man tʰou/	2 2	筷子	<i>kuaizi</i>	/kʰwai tsi/	4 5
蛋糕	<i>dangao</i>	/tan kao/	4 1	茶杯	<i>chabei</i>	/tɕʰa pei/	2 1
芒果	<i>mangguo</i>	/maŋ kwo/	2 3	皮鞋	<i>pixie</i>	/pʰi cje/	2 2
果汁	<i>guozhi</i>	/kwo tʃu/	3 1	玩具	<i>wanju</i>	/wan tɕy/	2 4
牛奶	<i>niunai</i>	/njou nai/	2 3	鈕扣	<i>niukou</i>	/njou kʰou/	3 4
草莓	<i>caomei</i>	/tsʰao mei/	3 2	盤子	<i>panzi</i>	/pʰan tsi/	2 5
葡萄	<i>putao</i>	/pʰu tʰao/	2 2	彩色筆	<i>caisebi</i>	/tsʰai sə pi/	3 4 4
牛排	<i>niupai</i>	/njou pʰai/	2 2	溫度計	<i>wenduji</i>	/wən tu tci/	1 4 4
蘋果	<i>pingguo</i>	/pʰiŋ kwo/	2 3	足球	<i>zuqiu</i>	/tsu tɕʰjou/	2 2
壽司	<i>shousi</i>	/ʃou si/	4 1	拼圖	<i>pintu</i>	/pʰin tʰu/	1 2
甜甜圈	<i>tiantianquan</i>	/tʰjen tʰjen tɕʰyen/	2 2 1	積木	<i>jimu</i>	/tci mu/	1 4
汽車	<i>qiche</i>	/tɕʰi tɕʰə/	4 1	大富翁	<i>dafuweng</i>	/ta fu wən/	4 4 1
飛機	<i>feiji</i>	/fei tci/	1 1	吹泡泡	<i>chuiapaopao</i>	/tɕʰwei pʰao pʰao/	1 4 4
火車	<i>huoche</i>	/hwo tɕʰə/	3 1	學校	<i>xuexiao</i>	/ɕye ciao/	2 4
耳朵	<i>erduo</i>	/ə two/	3 1	廚房	<i>chufang</i>	/tɕʰu faŋ/	2 2
牙齒	<i>yachi</i>	/ja tɕʰu/	2 3	客廳	<i>keting</i>	/kʰə tʰiŋ/	4 1
嘴巴	<i>zuiba</i>	/tswei pa/	3 1	花園	<i>huayuan</i>	/hwa yen/	1 2
說話	<i>shuohua</i>	/ʃwo hwa/	1 4	噴水池	<i>penshuichi</i>	/pʰən ʃwei tɕʰu/	1 3 2
寫字	<i>xiezi</i>	/ɕje tsi/	3 4	白雲	<i>baiyun</i>	/pai yn/	2 2
吃飯	<i>chifan</i>	/tɕʰu fan/	1 4	月亮	<i>yueliang</i>	/ye ljaŋ/	4 4
淋雨	<i>liny</i>	/lin y/	2 3	斷崖	<i>duanyai</i>	/twan jai/	4 2
游泳	<i>yoyong</i>	/jou ion/	2 3	生日	<i>shengri</i>	/sən zu/	1 4



兒童語音變異計算模型

□ 音韻規則可預測音節合併

- ✿ 「這」 + 「樣」 => 「醬」
- ✿ 台灣閩南語的音節合併 (ki lai => kiai)
- ✿ 兩端縮併原則 (Edge-in theory, merger=S1-onset+S2-rhyme)
- ✿ 元音響度階層原則 (Sonority hierarchy)

□ 語音弱化現象

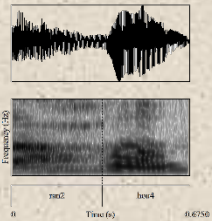
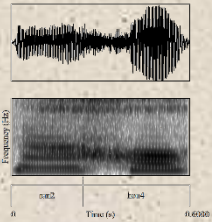
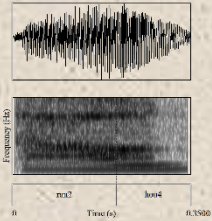
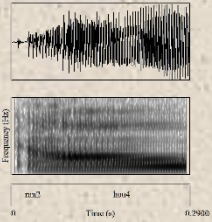
- ✿ 以聽感判斷標註音段的弱化或掉落
- ✿ 聲學特徵表示語音訊號的弱化

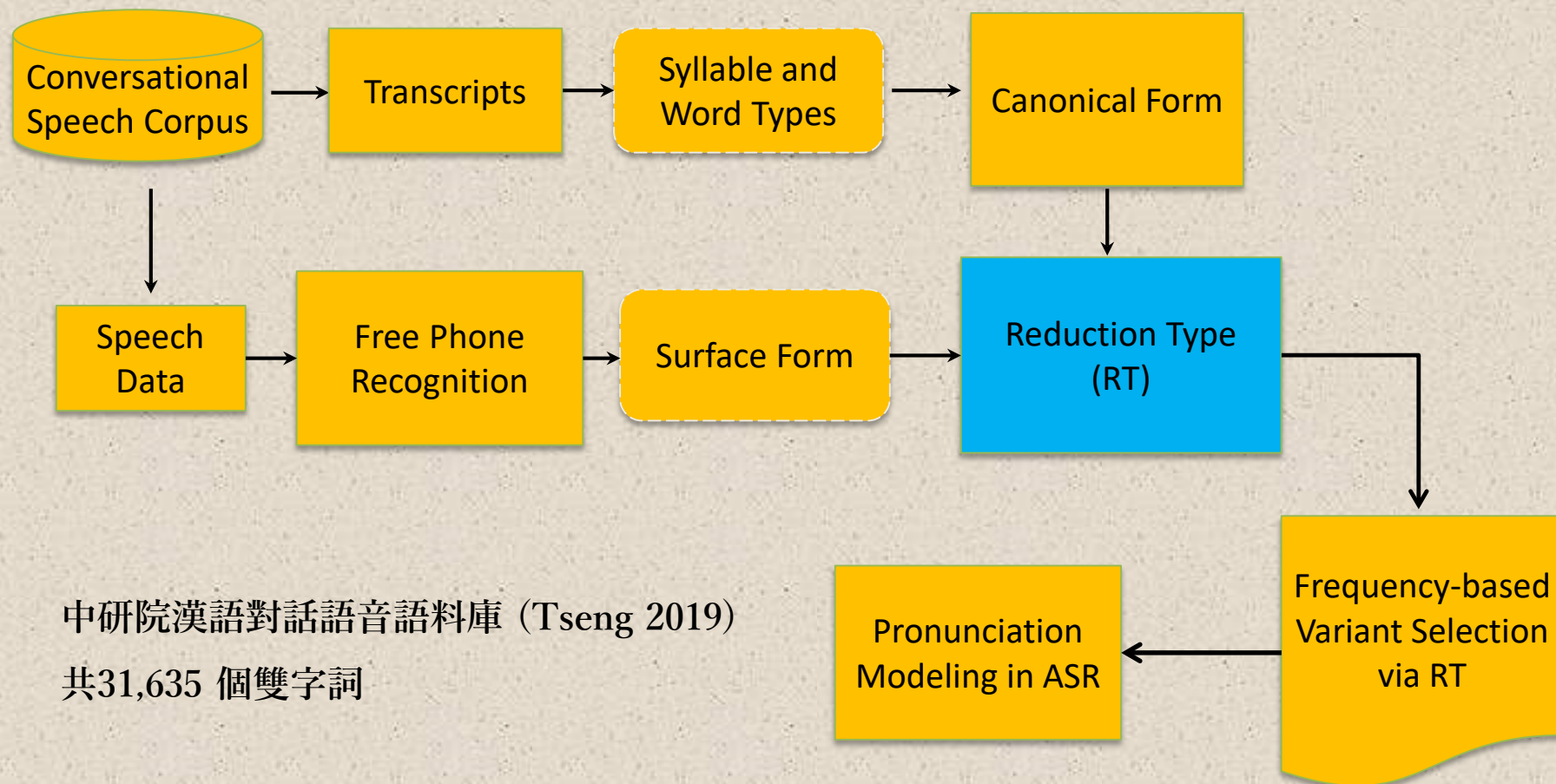
□ 自動語音辨識系統

- ✿ 詞彙的語音變異與詞彙意義的連結

□ 口語詞彙的心理詞庫表徵

- ✿ 口語語音形式的典範範疇

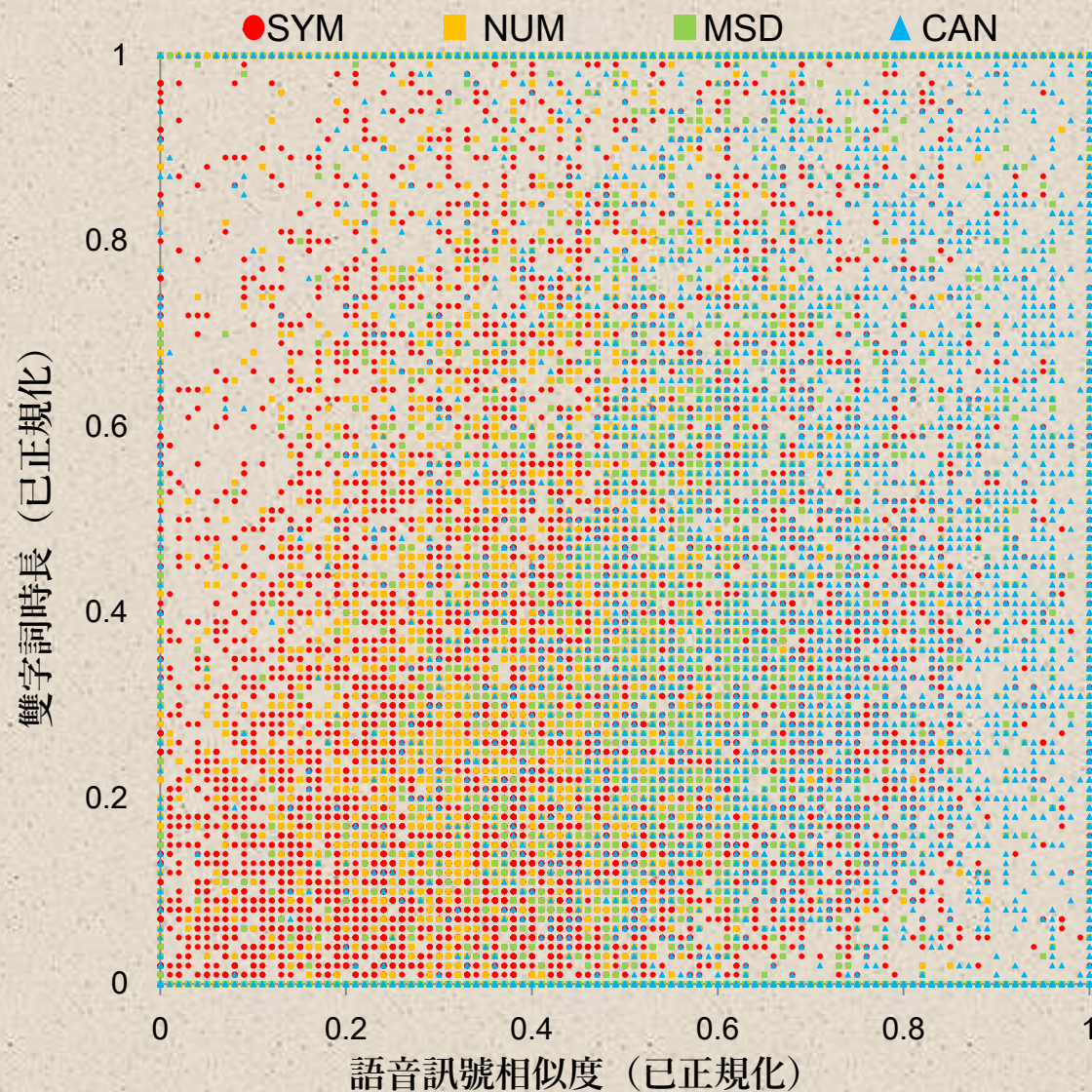
然後 /zan xou/	弱化類型	跨音節邊界	跨音節邊界 輔音掉落	元音數量
	符合標準音節結構型態 (CAN)	+	✗	≥ 2
	僅有部份輔音掉落 (MSD)	+	✓	≥ 2
	音節邊界輔音完全掉落 元音融合 (NUM)	+/-	✓	≥ 2
	音節合併 (SYM)	-	✓	< 2



中研院漢語對話語音語料庫 (Tseng 2019)

共31,635 個雙字詞

Liu, Tseng and Jang (2016)



Tseng (2020)



實驗刺激

RT

高頻詞

低頻詞

Target

CAN

16

16

MSD

16

16

SYM

16

16

Filler

CAN

24

24

MSD

12

12

SYM

12

12

頻率訊息參照

中研院中文口語詞頻表

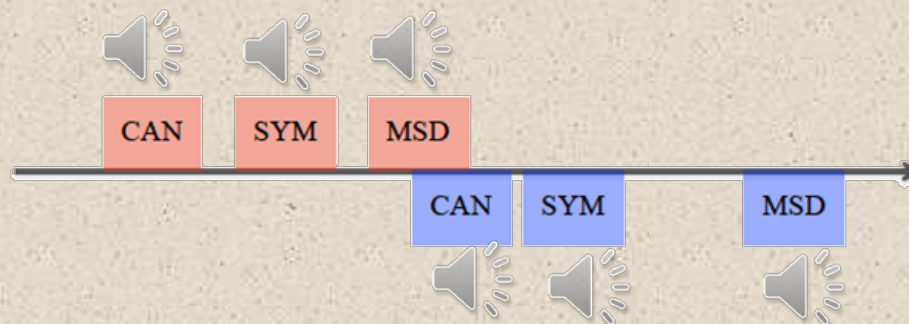
(Tseng 2019)

知道

CAN /tʃw.tao/

MSD /tʃw.ao/

SYM /tʃao/



魔鬼

CAN /mo.kwei/

MSD /mo.wei/

SYM /moei/

Lee (2018)

- 雅文兒童聽語文教基金會與科技部（原國科會）計畫資助
 - ✿ 45名聽損兒童及79名學齡前幼兒園兒童
 - ✿ 18語句複誦：聽損兒童4,064個音節、聽常兒童7,511個音節
 - ✿ 說故事（龜兔賽跑）：
 - 聽損兒童7,467個音節， 2,778個填充詞/言談功能詞
 - 聽常兒童9,102個音節， 3,695個填充詞/言談功能詞

	聽損兒童	聽常兒童
語者	30 助聽器（輕度~極重度） 15 CI（重度~極重度） 年齡：3;3~12;5（中位數 5;9）	79 年齡：2;11~6;3（中位數：4;11）
錄音	2008	2009
標註	IPU/詞語/音節/音段	IPU/詞語/音節/音段

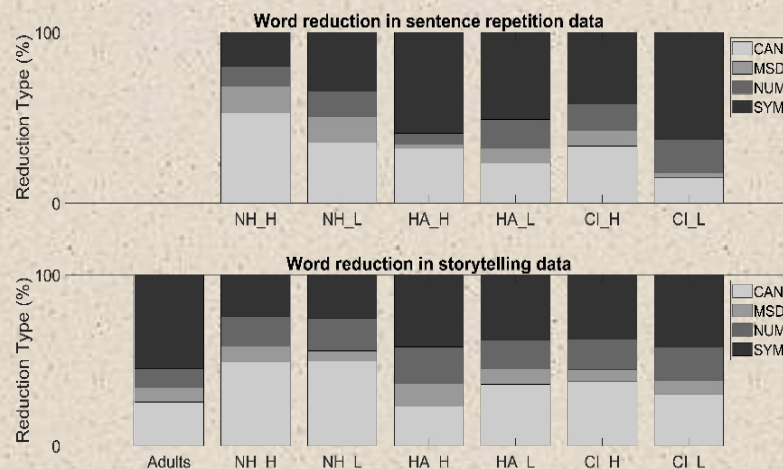
18 語句複誦



龜兔賽跑



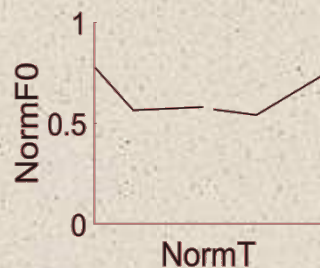
Tseng, Kuei and Tsou (2011)



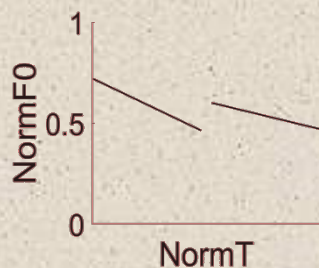
Tseng & Liu (2021)

- 聽常兒童標準音節結構比例明顯較高
- 18語句複誦：高口語清晰度與低口語清晰度兩組的聽常兒童的標準體（CAN）比例都明顯比該組相對應的助聽器與電子耳組兒童來的高，音段掉落刪減明顯的NUM與SYM則相對較少。
- 說故事語料：較為分歧，無法有整體解讀。
- 複誦語料因為每位兒童18語句的內容相同，語音清晰度的比較會相對準確。說故事語料雖然主題相同，但使用的詞彙不同，預測口語清晰度的效能比較不理想。

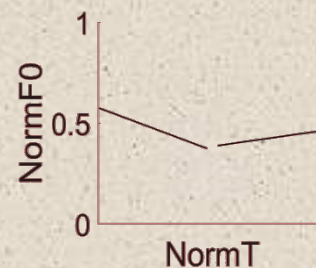
HI_02_01_S_02_03
CI, 3y7m



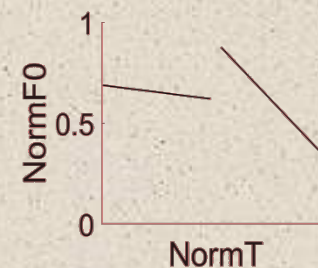
HI_03_01_S_02_07
HA, 4y11m



HI_08_01_S_02_03
HA, 6y11m

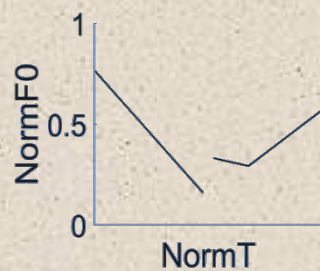


HI_06_01_S_02_10
HA, 4y3m

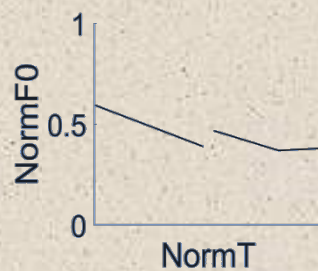


恐龍 kǒnglóng

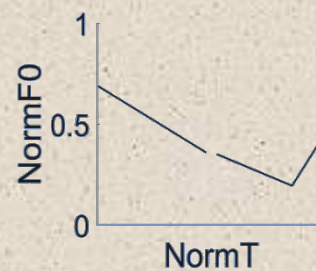
NH_07_S_02_03
5y11m



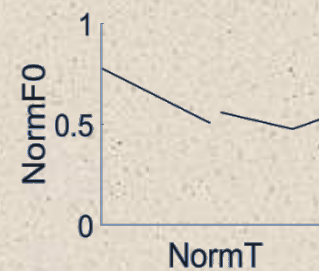
NH_64_S_02_03
3y3m



NH_12_S_02_04
5y5m

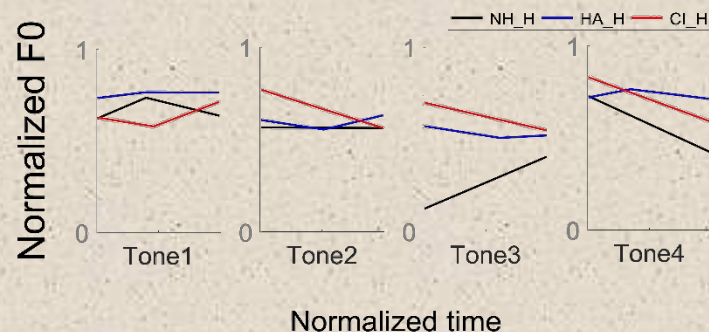


NH_51_S_02_06
4y2m



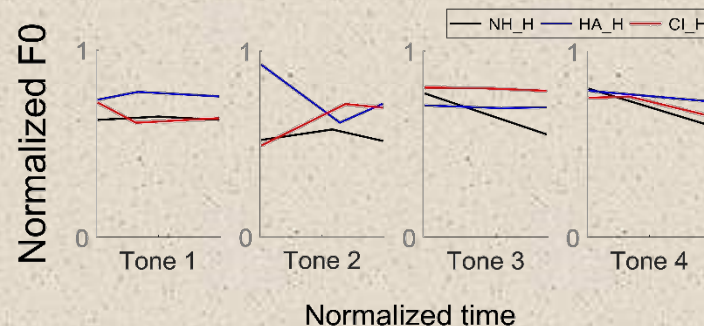
18語句複誦

High intelligibility



龜兔賽跑

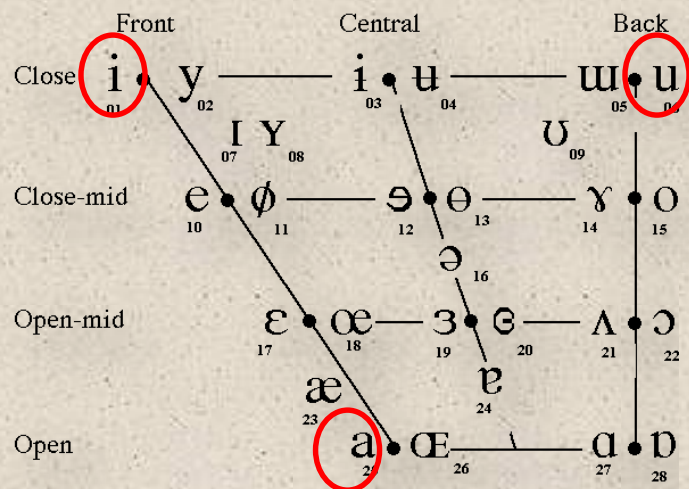
High intelligibility



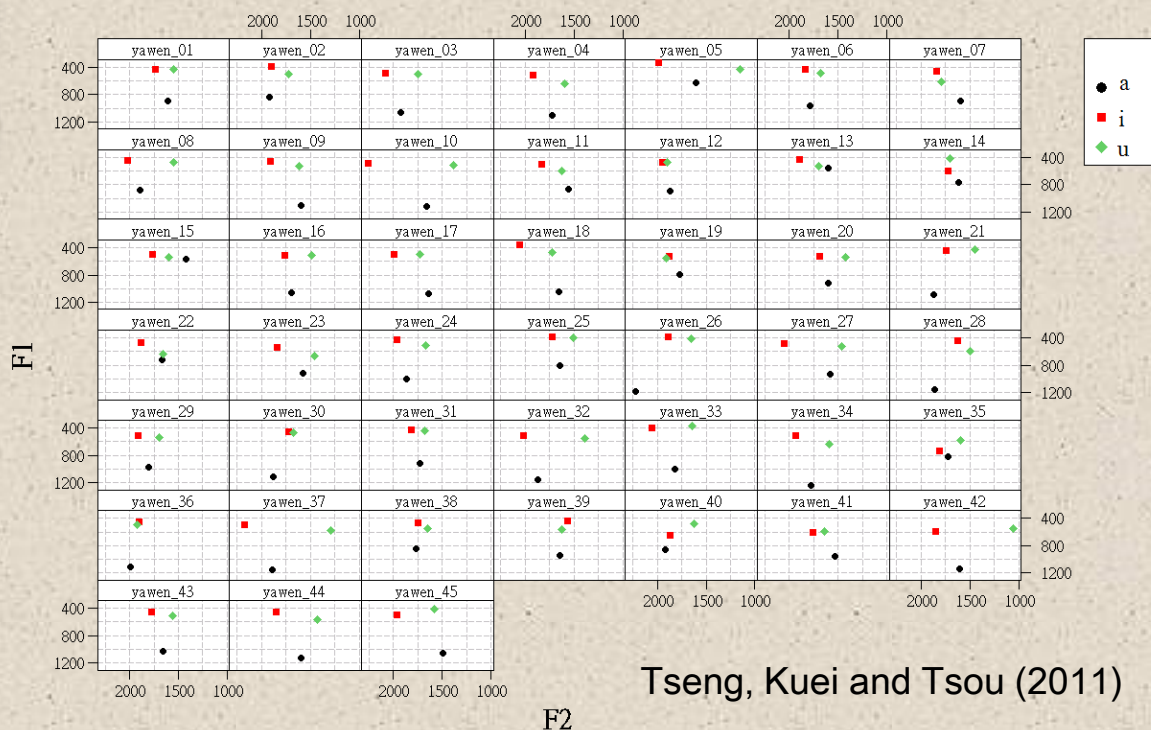
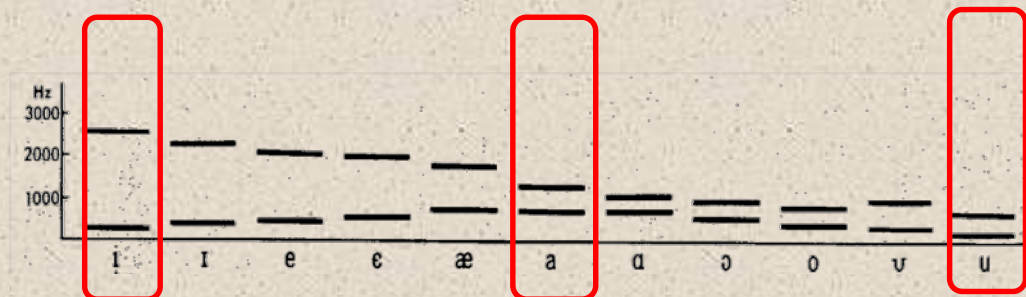
Tseng & Liu (2021)

- ❁ 低口語清晰度兒童的語音表現，特別是聲調變異，較為不穩定，。
- ❁ 聽常兒童（NH_H）的四個聲調，起始音高都符合標準調型；助聽器組兒童(HA_H)的三聲不符合；電子耳組兒童（CI_H）則是二、三聲都不符合。
- ❁ 整體調型曲線而言，聽損兒童二、三聲皆不符。
- ❁ 聲學訊號計算模型與語言習得聽感研究結果大致相同。二、三聲比一、四聲困難。但無法具體確認各聲調的變異為何，僅能以最大聚落的典型調型與標準調型比較。

=> 以雙字詞聲調平衡設計組合，搭配非監督式學習模型的自動分類結果，逐一檢視個別聲調分類，進一步確認各年齡層兒童各聲調在不同聲調環境的具體變異為何。



i vs. u => F2 (front/back)
i vs. a => F1 (close/open)



Tseng, Kuei and Tsou (2011)

F2

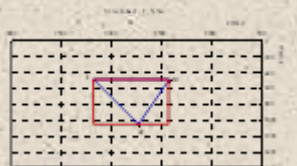
元音空間

組別 (大小)

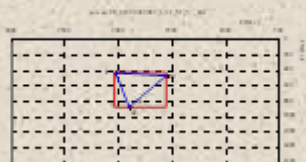
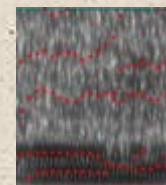
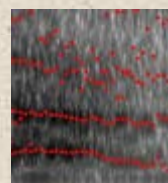
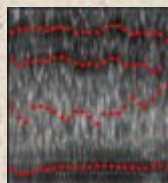
i

a

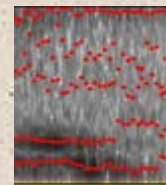
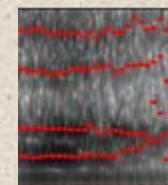
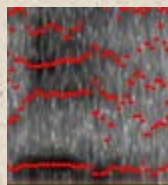
u



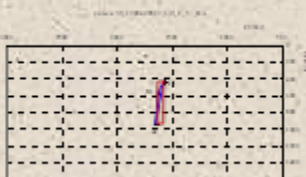
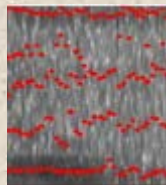
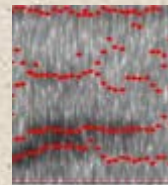
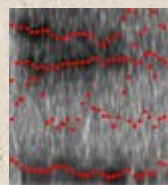
聽常兒童
(6.87)



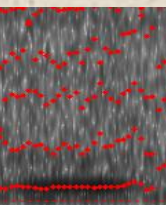
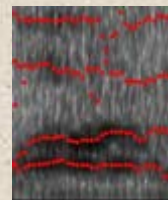
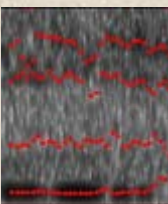
聽損兒童-I
(3.84)



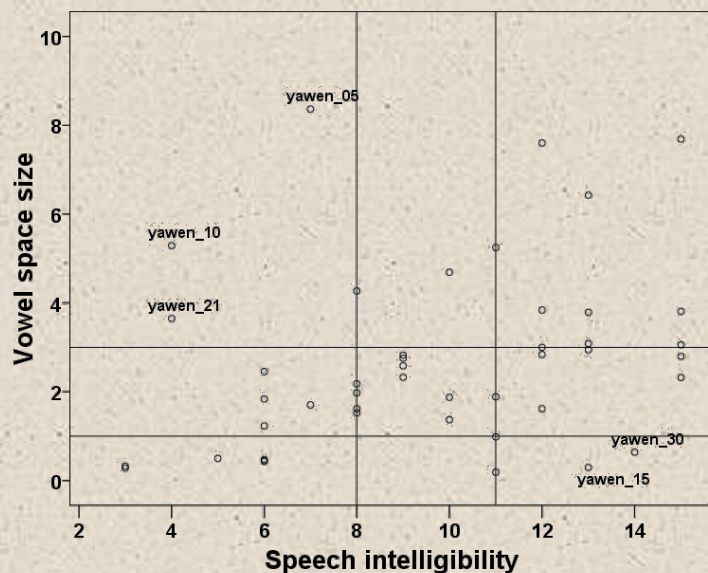
聽損兒童-II
(1.89)



聽損兒童-III
(0.48)



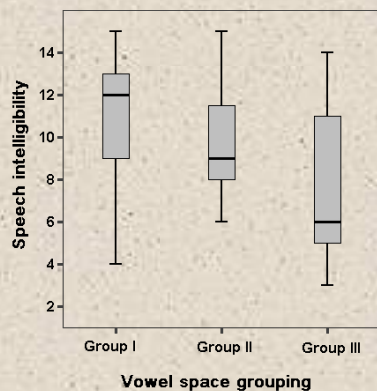
元音空間大小



Tseng, Kuei and Tsou (2011)

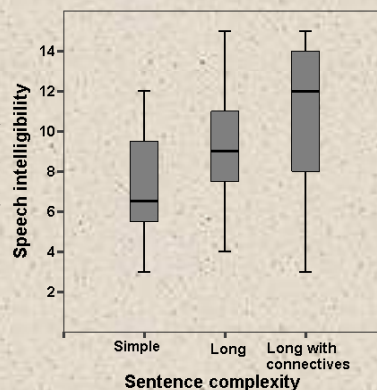
口語清晰度

口語清晰度



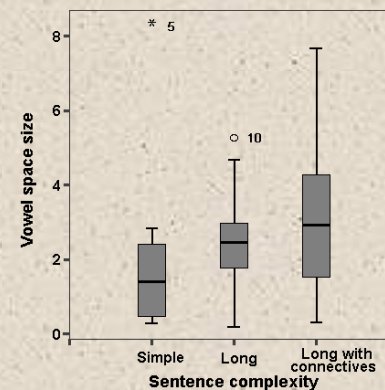
元音空間組別

口語清晰度

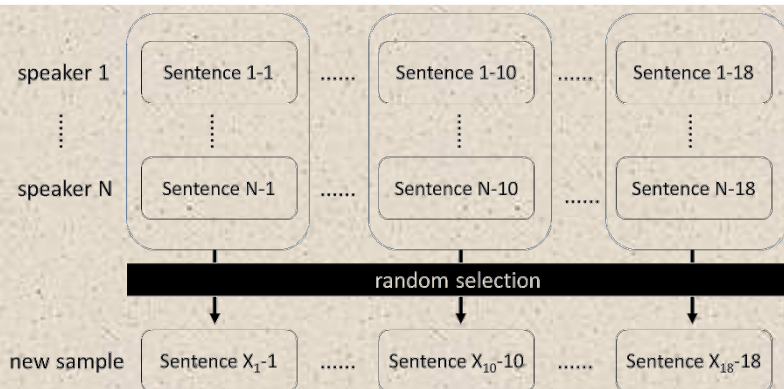


語句複雜度

元音空間大小



語句複雜度



聽感標註：口語清晰度以18語句整體評估分數為依據

訓練資料：18語句擴充集

測試資料：18語句原始組合/龜兔賽跑

深度學習模型	聲學特徵	Leave-one-out cross-validation						Training by augmented data					
		F1 (18語句複誦)			F1 (龜兔賽跑)			F1 (18語句複誦)			F1 (龜兔賽跑)		
		L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
LSTM	AP	0.77	0.97	0.97	0.24	0.43	0.67	0.87	0.87	0.93	0.25	0.51	0.54
CNN-LSTM	MFCC	0.92	0.99	0.98	0.48	0.39	0.77	0.76	0.93	0.94	0.70	0.60	0.80
	MeIS	0.92	0.99	0.99	0.24	0.49	0.72	0.74	0.90	0.91	0.58	0.56	0.76
UT	AP	0.2	0.56	0.87	0.21	0.23	0.67	0.81	0.81	0.86	0.32	0.39	0.76
CNN-UT	MFCC	0.52	0.69	0.9	0.36	0.38	0.73	0.93	0.94	0.95	0.71	0.62	0.81
	MeIS	0.37	0.58	0.88	0.04	0.37	0.72	0.64	0.88	0.91	0.35	0.46	0.79

	組別	低	中	高
18語句	NH	1.00	0.98	0.99
	HA	1.00	0.87	0.86
	CI	0.80	0.92	0.57
龜兔賽跑	NH	-	0.65	0.86
	HA	0.67	0.44	0.50
	CI	0.80	0.80	0.75

Lin & Tseng (2021)

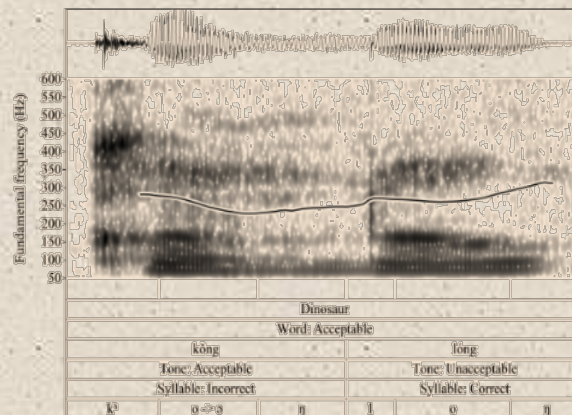
- ❁ 深度學習模型需要的訓練資料數量大
- ❁ 需要個別詞語之口語清晰度評分
- ❁ 各組內語者數量少，且年齡、性別、語音變異性大
- ❁ 缺乏足夠數量的常模數據參照

❧ 兒童語音習得常模數據

年齡 (歲)	3~3;6	3;6~4	4~4;6	4;6~5	5~5;6	5;6~6	6~6;6	6;6~6	總計
錄音人數 (男)	15	45	66	58	74	72	86	24	440
有效樣本 (男)	10	40	64	55	65	64	79	22	399
錄音人數 (女)	23	53	63	69	58	66	65	30	427
有效樣本 (女)	21	52	58	64	53	62	60	29	399

- 🌸 2017~2019 錄音；台北市與新北市共18個幼兒園
- 🌸 有效樣本為無任何認知或語言障礙與疾病；雙耳通過1000Hz、2000Hz、3000Hz (20dB) 聽力檢測
- 🌸 線上錄音系統管理語音、個人、評估資料
- 🌸 透過園方收集知情同意書與個人資料調查表

聽感標記	詞語		聲調		音節結構
	語意	語音形式	語意	聲調調型	音段正確
正確	✓	✓	✓	✓	✓
可接受	✓	✗			
不正確	✗	✗	✗	✗	✗



- 兩位評分人員先以10名兒童資料進行訓練 (70x10詞語)
- 討論確認標記原則一致後，獨立標記788名兒童資料之詞語、聲調、音節結構 (70x788詞語)
- 標記結果：**80.16%** 完全一致；**19.66%** 些微差異（自動選取發音偏差較大的標記）；
0.18% 結果矛盾（逐一核對討論，達成共識）
- 僅針對音節結構被標記為不正確之詞語進行後續音段標記
- 以自動切音產出的PRAAT格式進行記音；聲學特徵視覺化輔助
(中研院語言所中文自動切音系統：<http://aligner.ling.sinica.edu.tw/>)

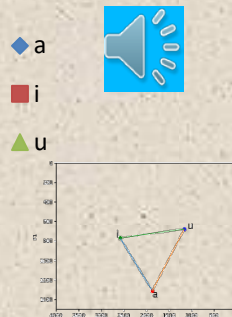
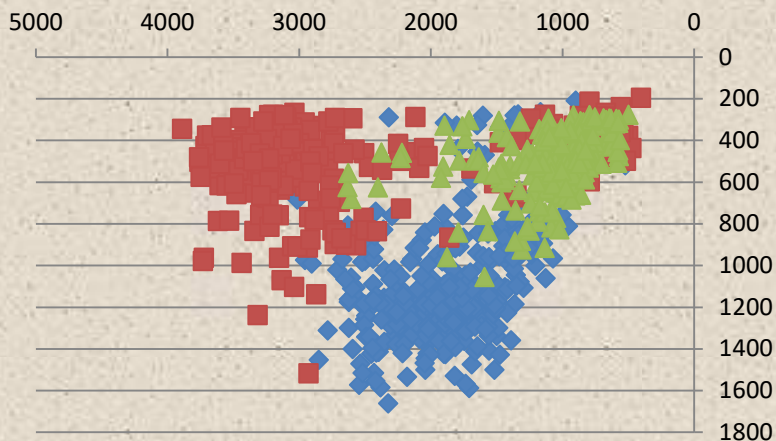
恐龍 kǒnglóng

年齡	發音清晰		普通		發音較不清晰	
3~4						
4~5						
5~6						
6~7 (一年級)						

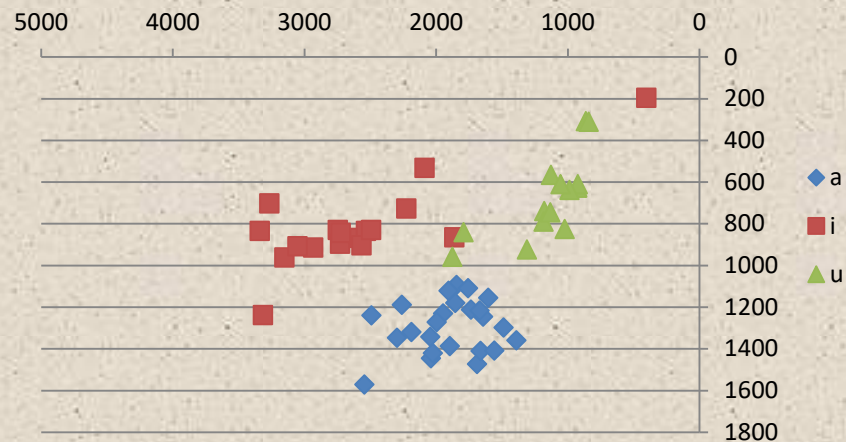
- ❁ 年齡
- ❁ 性別
- ❁ 詞類
- ❁ 音節結構
- ❁ 聲調組合

元音鑑別度：群體與個體差異

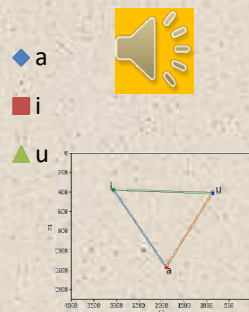
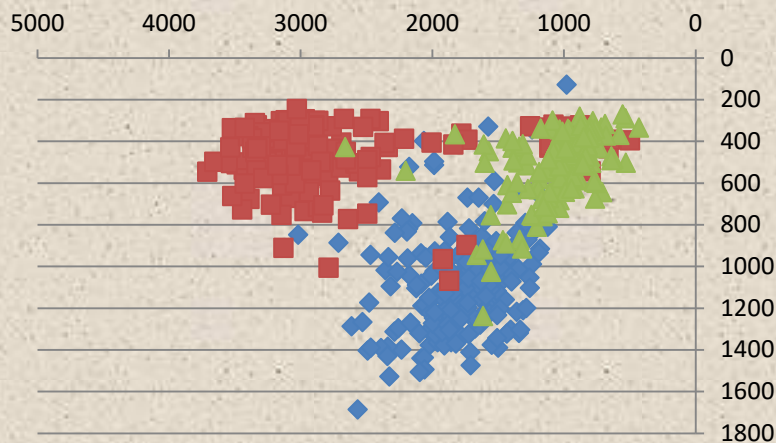
4.5~5 女童



B_105 較不清晰



4.5~5 男童



A_056 較清晰

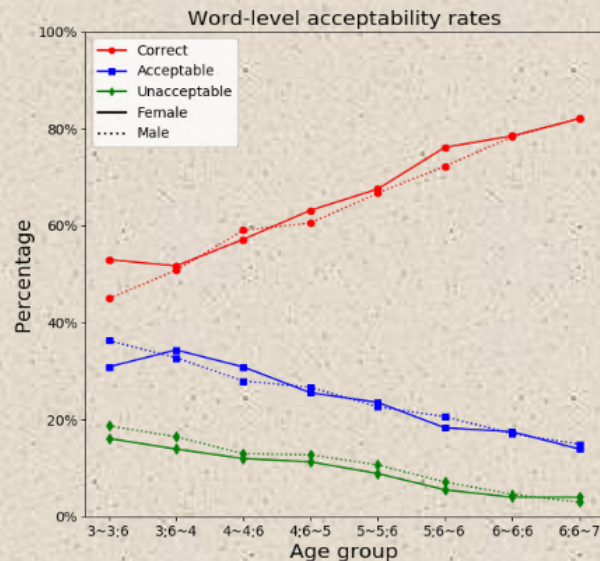


音節首輔音習得數據 (非記音結果)

年齡 性別	3~3;6		3;6~4		4~4;6		4;6~5		5~5;6		5;6~6		6~6;6		6;6~7	
	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男
零聲母	73.54	71.67	73.82	75.28	74.90	79.34	79.60	80.51	83.96	82.05	86.83	86.28	87.59	88.54	91.38	89.90
p	92.86	97.50	95.67	91.25	95.69	97.27	96.09	96.36	99.06	96.15	98.79	96.48	98.33	97.78	98.28	100
p ^h	75.76	63.64	74.65	78.18	82.13	82.81	82.95	83.31	84.56	85.59	91.50	87.64	92.12	93.10	91.54	93.80
t	83.33	85.00	82.93	81.25	87.07	85.74	85.74	81.36	88.68	84.04	94.56	93.16	93.33	92.41	94.83	93.75
t ^h	85.71	75.56	87.18	81.94	86.21	89.06	88.02	88.28	88.68	90.26	95.70	93.75	94.81	95.08	96.55	97.47
k	74.40	72.50	75.96	77.50	83.19	83.59	83.79	85.00	83.96	85.19	87.50	91.60	92.92	91.93	91.38	94.89
k ^h	72.62	57.50	73.56	73.75	75.00	82.03	78.91	81.36	83.96	85.00	89.11	89.45	89.58	93.67	92.24	95.45
f	78.57	63.33	73.40	67.92	79.02	79.95	77.08	75.15	79.87	84.36	89.52	85.94	90.56	92.19	91.95	90.15
s	95.24	63.33	80.77	70.00	79.31	78.65	87.50	76.36	89.31	85.13	88.17	89.06	92.22	89.45	95.40	92.42
ʃ	48.21	48.75	53.13	44.06	55.17	55.47	61.13	58.86	62.50	63.65	70.36	66.99	75.00	73.42	81.03	82.39
ç	89.12	67.14	87.36	73.21	87.19	84.60	88.17	86.75	90.03	89.01	93.09	92.19	97.14	96.02	95.57	96.75
x	86.67	92.00	90.77	92.50	93.45	92.19	96.56	94.18	93.58	95.08	95.48	92.19	97.33	96.46	97.93	97.27
ʒ	50.00	50.00	43.27	46.25	53.45	55.47	63.28	55.45	59.43	56.92	66.94	66.41	71.67	70.89	75.86	68.18
ts	79.59	64.29	71.70	64.64	78.08	74.55	80.36	71.17	85.71	82.86	84.33	88.84	89.29	88.43	91.63	89.61
ts ^h	83.33	57.50	81.73	69.38	83.62	79.69	82.42	74.09	85.85	81.92	87.10	87.11	90.00	91.77	92.24	92.05
tʃ	48.81	62.50	46.63	46.88	57.33	57.03	57.42	58.18	61.79	62.31	73.79	63.28	73.75	70.89	84.48	76.14
tʃ ^h	45.02	50.91	43.53	44.55	54.55	52.98	58.10	56.36	61.58	64.20	73.17	66.34	73.79	74.11	79.31	72.31
tç	88.89	85.00	92.63	89.58	89.37	89.58	93.75	93.33	95.60	94.10	96.24	96.09	96.94	97.26	94.25	96.97
tç ^h	71.43	57.50	78.85	76.88	81.90	82.42	87.11	80.45	91.04	86.92	89.11	84.77	95.42	93.35	94.83	97.73
m	93.45	83.75	87.74	87.19	89.87	90.82	93.36	93.18	92.45	93.46	96.98	94.34	96.25	95.89	96.98	98.30
n	92.86	92.50	94.23	89.38	89.66	91.02	91.41	94.09	93.40	92.31	93.55	92.58	94.58	96.84	97.41	96.59
l	69.39	67.14	67.03	70.00	72.66	77.68	77.46	77.40	84.64	79.34	91.01	87.72	88.57	89.87	92.12	95.45

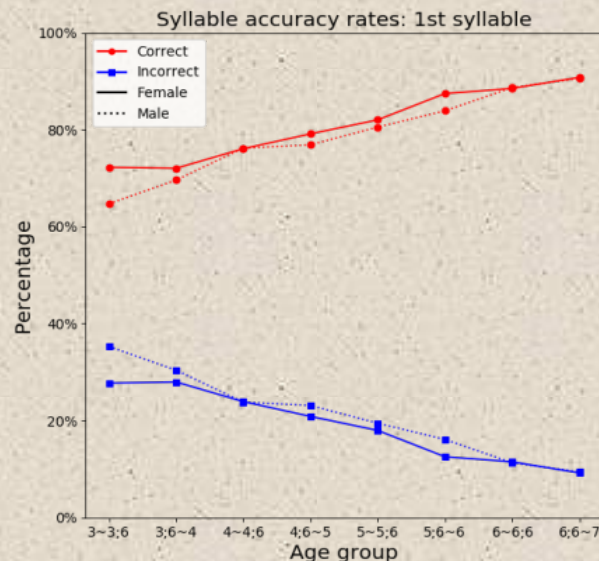
詞語標記:

正確、可接受、不可接受



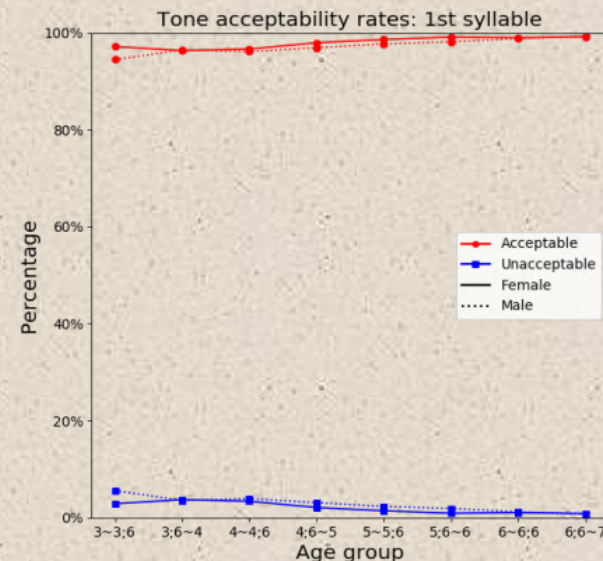
音節結構標記:

正確、不正確

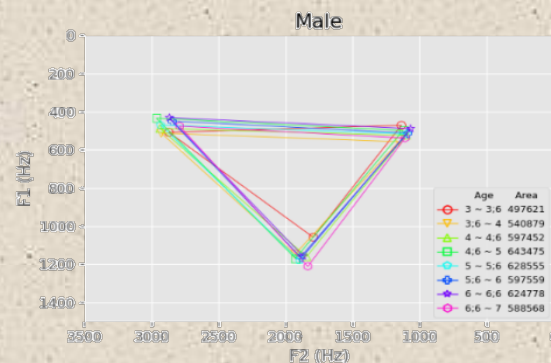
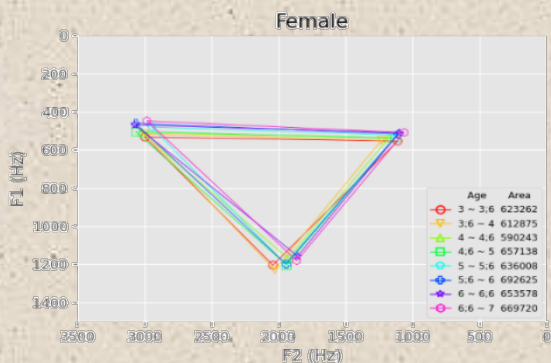


聲調標記:

可接受、不可接受



元音空間習得歷程



☞ 線上錄音與音韻特徵自動比對

□ *AssessingSpeech* 提供以下功能：

- ✿ 遠距／線上語音資料收集（輔以圖片、文字之呈現）
- ✿ 自行設定與編輯詞彙集／評估工具
- ✿ 三種記音符號面板（國際音標／注音／拼音）
- ✿ 自動計算記音結果
- ✿ 自動比對錯誤類型
- ✿ 自動產生評估結果
- ✿ 個人資料管理（語言、地區、家庭...）
- ✿ 系統管理員設定使用者權限
- ✿ 匯出個人資料、聲檔、評估結果與錯誤類型報表
- ✿ 建立受試者學習歷程，提供檢測單位／家長參考資料
- ✿ 收集研究用數據資料

□ *AssessingSpeech* 後續發展：

- ✿ 以語音習得聽感標記數據建立深度學習模型模型及語音自動評估系統
- ✿ 發展線上快篩APP應用工具
- ✿ 參照常模數據，自動帶入參照常模之落點

1. 評估詞語總數(total word number): 65 (聲母: 140, 韻母: 140)
2. 有效評估詞語個數(valid word number): 65 (有效聲母個數: 140, 有效韻母個數: 140)
3. 聲母正確率(INITIAL accuracy rate): 36.4% (51/140)
4. 韻母正確率(FINAL accuracy rate): 87.9% (123/140)
5. 個別聲母正確率(INITIAL):

ㄅ: 80% (4/5)	ㄆ: 0% (0/6)	ㄇ: 0% (0/6)	ㄋ: 0% (0/7)
ㄌ: 100% (6/6)	ㄊ: 0% (0/6)	ㄋ: 100% (5/5)	ㄌ: 100% (5/5)
ㄋ: 80% (4/5)	㄄: 0% (0/6)	ㄍ: 20% (1/5)	ㄌ: 0% (0/6)
ㄆ: 0% (0/6)	ㄇ: 100% (6/6)	ㄍ: 16.7% (1/6)	ㄌ: 0% (0/6)
ㄇ: 0% (0/6)	ㄏ: 20% (1/5)	ㄎ: 0% (0/6)	ㄌ: 37.5% (3/8)
ㄎ: 0% (0/6)	ㄏ: 88.2% (15/17)		

6. 個別韻母正確率(FINAL):

ㄣ: 100% (3/3)	ㄣ: 100% (6/6)	ㄣ: 100% (7/7)	ㄣ: 100% (3/3)
ㄣ: 100% (3/3)	ㄣ: 100% (1/1)	ㄣ: 100% (1/1)	ㄣ: 50% (1/2)
ㄣ: 100% (1/1)	ㄣ: 25% (1/4)	ㄣ: 100% (2/2)	ㄣ: 100% (3/3)
ㄣ: 100% (4/4)	ㄣ: 100% (7/7)	ㄣ: 0% (0/1)	ㄣ: 0% (0/2)
ㄣ: 100% (7/7)	ㄣ: 100% (12/12)	ㄣ: 100% (4/4)	ㄣ: 100% (7/7)
ㄣ: 0% (0/3)	ㄣ: 100% (4/4)	ㄣ: 100% (2/2)	ㄣ: 100% (3/3)
ㄣ: 100% (4/4)	ㄣ: 75% (3/4)	ㄣ: 50% (2/4)	ㄣ: 66.7% (2/3)
ㄣ: 100% (3/3)	ㄣ: 100% (4/4)	ㄣ: 100% (5/5)	ㄣ: 100% (1/1)
ㄣ: 66.7% (2/3)	ㄣ: 100% (1/1)	ㄣ: 100% (2/2)	
ㄣ: 0% (0/1)	ㄣ: 0% (0/1)		

7. 構音錯誤類型: 替代(substitution):

聲母:

塞音化:

ㄌ (ㄌ 4/6, ㄌ 1/5, ㄌ 5/6, ㄌ 4/5, ㄌ 5/6, ㄌ 6/6, ㄌ 6/6, ㄌ 5/8, ㄌ 5/6, ㄌ 5/6)

淇/冰淇淋 (ㄌ->ㄌ)	風/風箏 (ㄌ->ㄌ)	箏/風箏 (ㄌ->ㄌ)	子/兔子 (ㄌ->ㄌ)
琴/鋼琴 (ㄌ->ㄌ)	車/火車 (ㄌ->ㄌ)	竹/竹筍 (ㄌ->ㄌ)	筍/竹筍 (ㄌ->ㄌ)
賊/烏賊 (ㄌ->ㄌ)	松/松鼠 (ㄌ->ㄌ)	鼠/松鼠 (ㄌ->ㄌ)	紙/報紙 (ㄌ->ㄌ)
山/爬山 (ㄌ->ㄌ)	巾/毛巾 (ㄌ->ㄌ)	船/帆船 (ㄌ->ㄌ)	視/電視 (ㄌ->ㄌ)
巧/巧克力 (ㄌ->ㄌ)	彩/彩虹 (ㄌ->ㄌ)	洗/洗衣機 (ㄌ->ㄌ)	機/洗衣機 (ㄌ->ㄌ)
磁/磁鐵 (ㄌ->ㄌ)	掃/掃地 (ㄌ->ㄌ)	手/手錶 (ㄌ->ㄌ)	蟹/螃蟹 (ㄌ->ㄌ)
剪/剪刀 (ㄌ->ㄌ)	圾/垃圾桶 (ㄌ->ㄌ)	小/小鳥 (ㄌ->ㄌ)	站/站牌 (ㄌ->ㄌ)
唱/唱歌 (ㄌ->ㄌ)	菜/花椰菜 (ㄌ->ㄌ)	足/足球 (ㄌ->ㄌ)	球/足球 (ㄌ->ㄌ)
熊/熊貓 (ㄌ->ㄌ)	刷/牙刷 (ㄌ->ㄌ)	蔥/洋蔥 (ㄌ->ㄌ)	傘/雨傘 (ㄌ->ㄌ)
照/照片 (ㄌ->ㄌ)	草/草莓 (ㄌ->ㄌ)	皂/肥皂 (ㄌ->ㄌ)	吃/吃飯 (ㄌ->ㄌ)
茶/茶壺 (ㄌ->ㄌ)	懸/懸崖 (ㄌ->ㄌ)	睡/睡覺 (ㄌ->ㄌ)	覺/睡覺 (ㄌ->ㄌ)
斯/瓦斯爐 (ㄌ->ㄌ)	計/溫度計 (ㄌ->ㄌ)		

ㄌ (ㄌ 1/6, ㄌ 1/6)

鐘/鬧鐘 (ㄌ->ㄌ) 窗/窗戶 (ㄌ->ㄌ)

鼻音化:

ㄌ (ㄌ 1/5, ㄌ 1/6)

冰/冰淇淋 (ㄌ->ㄌ) 葡/葡萄 (ㄌ->ㄌ)

ㄌ (ㄌ 1/5)

乳/乳牛 (ㄌ->ㄌ)

邊音化:

ㄌ (ㄌ 3/5)

日/向日葵 (ㄌ->ㄌ) 熱/熱狗 (ㄌ->ㄌ) 肉/烤肉 (ㄌ->ㄌ)

塞擦音化:

ㄌ (ㄌ 1/6)

向/向日葵 (ㄌ->ㄌ)

舌根音化:

ㄌ (ㄌ 6/6, ㄌ 7/7, ㄌ 1/6)

葡/葡萄 (ㄌ->ㄌ)	蛋/蛋糕 (ㄌ->ㄌ)	兔/兔子 (ㄌ->ㄌ)	蚪/蝌蚪 (ㄌ->ㄌ)
爬/爬山 (ㄌ->ㄌ)	電/電視 (ㄌ->ㄌ)	豚/海豚 (ㄌ->ㄌ)	鐵/磁鐵 (ㄌ->ㄌ)
地/掃地 (ㄌ->ㄌ)	天/摩天輪 (ㄌ->ㄌ)	刀/剪刀 (ㄌ->ㄌ)	桶/垃圾桶 (ㄌ->ㄌ)
朵/耳朵 (ㄌ->ㄌ)	度/溫度計 (ㄌ->ㄌ)		

不送氣化:

ㄌ (ㄌ 6/6)

蝌/蝌蚪 (ㄌ->ㄌ)	葵/向日葵 (ㄌ->ㄌ)	克/巧克力 (ㄌ->ㄌ)	孔/孔雀 (ㄌ->ㄌ)
烤/烤肉 (ㄌ->ㄌ)	筷/碗筷 (ㄌ->ㄌ)		

DEMO

謝謝聆聽，敬請指教！

- ❁ 中文口語詞頻表 & 音節組合頻率表
學術單位來函中央研究院即可申請免費學術授權使用
- ❁ 歡迎聽常、聽損、言語障礙之成人與兒童合作研究
- ❁ 聯絡資訊：曾淑娟博士
Tel: 2652-5014 或 E-Mail: tsengsc@gate.sinica.edu.tw